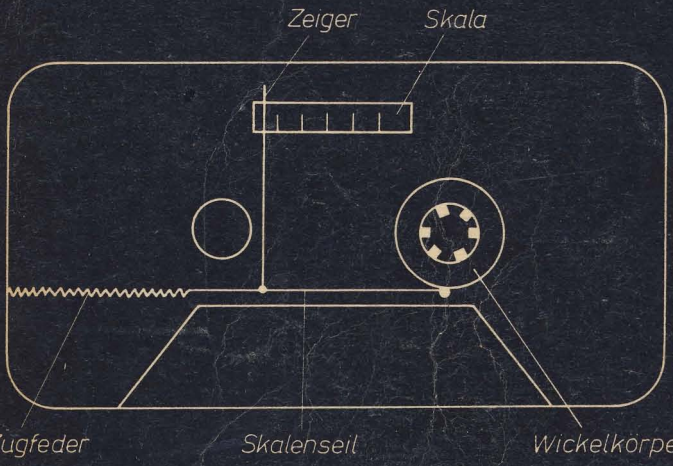
amateurreihe

electronica



Ulrich Blaese

219/220

Magnetische Schallspeicher-technik

electronica Band 219/220

ULRICH BLAESE

Magnetische Schallspeichertechnik

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage
© Militärverlag
der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1984
Lizenz-Nr. 5 · LSV 3539
Lektor: Steffen Würtenberger
Zeichnungen: Angelika Ulsamer
Typografie: Martina Schwarz
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. 02. 1984
Bestellnummer: 746 634 2
00380

Inhaltsverzeichnis

1.	**Vorwort**	6
1.	**Einführung**	7
1.1	Anforderungen an Tonspeicher der HiFi-Technik	7
1.1.1.	Zum notwendigen Speicherumfang (Dynamik, Frequenzgang)	9
1.1.2.	Technische Anforderungen	12
1.2.	Prinzip der magnetischen Signalspeichertechnik	18
1.2.1.	Bewegung des Magnetbands	19
1.2.2.	Prinzipieller Speichervorgang	21
1.3.	Überblick zur Geräte- und Schaltungstechnik	26
1.3.1.	Konstruktive Merkmale des Band-Kopf-Systems	26
1.3.2.	Studiotechnik	27
1.3.3.	Heimtontechnik – allgemein	32
1.3.4.	HiFi-Technik	35
2.	**Laufwerke der Heimtontechnik**	42
2.1.	Allgemeine Anforderungen und Aufbau	42
2.2.	Antriebssysteme	44
2.2.1.	Allgemeines Wirkungsprinzip	44
2.2.2.	Antriebssysteme für Magnetband 6	45
2.2.3.	Antriebssysteme für Magnetband 4	49
2.3.	Mechanisches Band-Kopf-System	50
2.3.1.	Bandantrieb bei Arbeitsgeschwindigkeit	50
2.3.2.	Bandführungselemente und Kopfträger	51
2.3.3.	Bremsfunktionen und Bandandruck	53
2.4.	Kenngrößen und Anforderungen nach Standard	55
3.	**Das Magnetband**	59
3.1.	Aufbau, Eigenschaften und Anforderungen	59
3.2.	Kenngrößen und Begriffe	61
3.2.1.	Geometrische Kenngrößen	61
3.2.2.	Mechanische Kenngrößen	62
3.2.3.	Magnetische Kenngrößen	64
3.2.4.	Elektroakustische Kenngrößen	66

3.3.	Konfektionierung und Kennzeichnung	70
3.3.1.	Magnetband 6	70
3.3.2.	Magnetband 4	72
3.4.	Einsatz von Magnetbändern	73
3.5.	Aufbewahrung und Umgang	79
3.6.	Zubehör	79
4.	**Der Magnetkopf**	81
4.1.	Allgemeines zum Aufbau	81
4.2.	Eigenschaften	83
4.2.1.	Mechanische und magnetische Eigenschaften (Magnetkopfkern)	83
4.2.2.	Elektromagnetische Eigenschaften (Induktivität – Magnetkopfwiderstand)	84
4.3.	Kenngrößen und Begriffe	90
4.3.1.	Geometrische Kenngrößen	90
4.3.2.	Elektromagnetische Kenngrößen	92
4.4.	Ermittlung der Magnetkopfkenngrößen zur Dimensionierung der Elektronik	96
4.5.	Magnetkopftypen	98
4.5.1.	Einteilung und Kennzeichnung	98
4.5.2.	Einsatz und Umgang	99
5.	**Band-Kopf-Betrieb**	112
5.1.	Bandfluß – Erzeugung und Abtastung	112
5.1.1.	Frequenzumfang – Wellen- und frequenzabhängige Verluste	114
5.1.2.	Dynamik – Rauschen und Verzerrungen	118
5.1.3.	Störende Einflüsse auf den Band-Kopf-Betrieb	120
5.2.	Meßtechnik am Band-Kopf-System	125
5.2.1.	Bezugsbänder	125
5.2.2.	Ermittlung der A/W-Entzerrung	130
5.2.3.	Anfertigen eines Prüfbands entsprechend den standardisierten Bezugsbändern	130
5.3.	Meß- und Testbänder	133
5.3.1.	Meßbänder zum mechanischen Band-Kopf-System	133
5.3.2.	Meßbänder für Mehrspurgeräte	134
5.3.3.	Testbänder	136
5.4.	Meßtechnik am mechanischen Band-Kopf-System	136
5.4.1.	Kraft- und Drehmomentmessung	136

5.4.2 Zuordnung Magnetspur – Arbeitsspalt (Spalteinstellung) 138
5.4.3. Arbeitsgeschwindigkeit 139
5.4.4. Gleichlauf 142

6. Dimensionierung des Band-Kopf-Systems 145
6.1. Vorbetrachtungen 145
6.1.1. Wahl der Grundelemente 145
6.1.2. Ermittlung der Kennwerte zur Dimensionierung des erweiterten Band-Kopf-Systems 147
6.2. Grundlagen zur Dimensionierung der Elektronik . 150
6.2.1. Anpassung der Elektronik an das Band-Kopf-System 151
6.2.2. Korrigierte Verstärkung (Ent- und Verzerrung) . 160
6.3. Vorschlag eines erweiterten Band-Kopf-Systems . 168
6.3.1. Eingangsbaugruppen des Aufzeichnungskanals . . 179
6.3.2. Aufzeichnungsverzerrerverstärker 188
6.3.3. Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator 191
6.3.4. Kontrollbaugruppen 195
6.3.5. Wiedergabeentzerrerschaltungen 200

7. Anhang 204
7.1. Grundbegriffe 204
7.2. Kenngrößen von Magnettongeräten 205
7.3. Magnetbänder 207
7.4. Magnetkopf 210
7.5. Tabellen zur Umrechnung von Pegeln 212

8. Literatur 214

Vorwort

Erhöhte Anforderungen an die Qualität elektroakustischer Geräte im Amateurbereich erfordern eine im Fachgebiet entsprechende Spezialisierung. Die vorliegende Broschüre soll dem Elektronikamateur Arbeitsgrundlage auf dem Gebiet der analogen Signalspeichertechnik sein. Dazu enthält sie Hinweise für Neu- bzw. Umdimensionierung sowie meßtechnischen Überprüfung des Band-Kopf-Systems eines Magnettongerätes. Dieses Konzept beinhaltet keine Bauanleitung für ein Magnettongerät, sondern allgemeine und spezielle Angaben zur Magnettontechnik und den Grundelementen *Laufwerk*, *Magnetband* und *Magnetkopf*. Gleichzeitig werden die Zusammenhänge im Band-Kopf-System dargestellt. Mit den praktischen Hinweisen sollen dem Leser bei der Lösung seiner Probleme (Auswahl der Grundelemente, Dimensionierung der elektronischen Baugruppen) Anregungen vermittelt werden.

Cottbus, Mai 1984 Ulrich Blaese

1. Einführung

1.1. Anforderungen an Tonspeicher der HiFi-Technik

An die Technik der magnetischen Schallspeicherung mit hohem Qualitätsanspruch an die Übertragungsparameter wird die Forderung gestellt, elektrische Signale akustischer Ereignisse dynamikgetreu und entsprechend ihrem Frequenzumfang zu speichern. Über elektroakustische Wiedergabeeinrichtungen (Bild 1.1) soll der akustische Aufnahmeraum mit allen enthaltenen Primär- und Sekundärschallquellen (z. B. Orchester–Raumschall) reproduzierbar sein. Dies ist mit den bekannten stereofonen Verfahren (raum- oder kopfbezogen) in guter Näherung möglich. Dazu müssen mindestens zwei Tonkanäle (getrennte Magnetspuren) vorhanden sein. Um die Anforderungen an Dynamik und Frequenzgang zu erfüllen sowie die beim Aufnahme- und Wiedergabevorgang im elektroakustischen Übertragungsweg auftretenden physikalischen und technischen Störungen gering zu halten, ist ein erheblicher ökonomischer Aufwand erforderlich, der nur in der Studiotechnik gerechtfertigt erscheint. Bei Heimtongeräten sind, bedingt durch die geringere Bandgeschwindigkeit und die verringerte Spurbreite gegenüber der Studiotechnik sowie durch die Bedingungen des technologischen Ablaufs der Massenproduktion, Einschränkungen in Kauf zu nehmen. Die dann durch den Speichervorgang bei der Wiedergabe auftretenden Abweichungen vom ursprünglichen akustischen Ereignis können nur bedingt durch neue Technologien der Magnetband- und Magnetkopfherstellung und der elektronischen Baugruppen (u. a. Einsatz rauschmindernder Systeme) kompensiert werden.
Einen Kompromiß zur Studiotechnik, in der das technisch maximal Mögliche verwirklicht werden kann, stellt die HiFi-Technik dar. Im Standard dieser Technik ist das Maß der maximal zulässigen Abweichungen vom Originalschall angegeben. Dazu sind hörphysikalische und hörpsychologische Eigenarten der menschlichen Schallwahrnehmung berücksichtigt. Daraus leitet sich ein Maß für die maximal zulässigen Abweichungen her. Geräte der HiFi-(Heimstudio-)Technik liegen in ihrem ökonomischen Aufwand

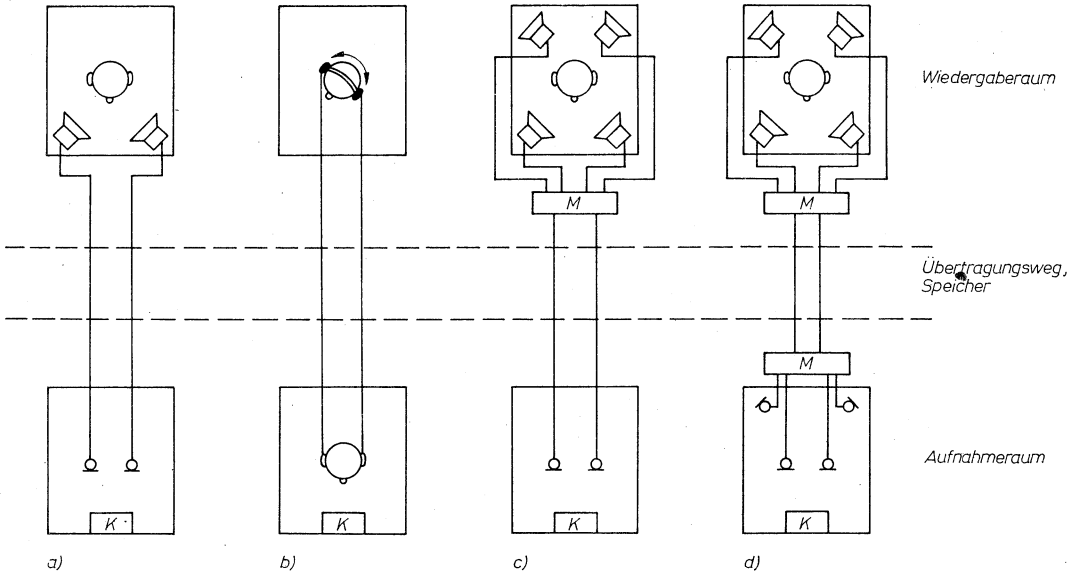


Bild 1.1 Übliche Aufnahme- und Wiedergabetechnologien akustischer Ereignisse; a – Stereofonie (2-Kanaltechnik – Bifonie), b – Kopfbezogene Stereofonie (Kunstkopftechnik), c – Pseudo-Quadrofonie (einfache Variante), Pseudo-Quadrofonie (Stereo-Ambiofonie, 4-2-4-Matrix-Technik)

zwischen dem der Studiotechnik und dem der einfacheren Heimtontechnik, wobei das bei der Reproduktion entstehende Klangbild subjektiv dem in der Studiotechnik vergleichbar ist.

1.1.1. Zum notwendigen Speicherumfang (Dynamik, Frequenzgang)

Die Dynamik als Differenz von Schallpegeln kennzeichnet den Abstand eines mit maximaler Intensität auftretenden Schalls zu einem Minimum der Intensität eines akustischen Ereignisses. Der maximale Schallpegel am Ohr oder auch Mikrofon ist außer von der Art der Schallquelle und deren Eigenschaften von vielen Einflüssen abhängig (z. B. von den akustischen Eigenschaften des Raumes, in dem sich die Schallquelle befindet, von der relativen Lage der Schallquelle zum Hörer – Mikrofon und dessen Standpunkt im Raum). Der interessierte Leser sei auf Fachliteratur [2, 3, 4] verwiesen. Hier können nur Zahlenwerte mit der Zuordnung zu bestimmten akustischen Ereignissen wiedergegeben werden. Die Tabelle 1. 1. dient zur Abschätzung des maximalen Pegels und der Dynamik akustischer Ereignisse. Den Frequenzumfang einiger Schallquellen enthält Tabelle 1.2.
Ein Speichergerät für den universellen Einsatz müßte demnach einen Frequenzbereich von 16 bis 16000 Hz und einen Dynamikbereich von >75 dB aufweisen. Das ist zumindest für die Amateurpraxis mit den zur Verfügung stehenden Magnetköpfen, Magnetbändern und mit der analogen Speichertechnik kaum zu realisieren und auch nicht unbedingt erforderlich, da nicht immer zweckmäßig. So beträgt der Frequenzumfang bei UKW-Rundfunksendungen und Schallplattenaufnahmen etwa 50 Hz bis 15 kHz, und die Dynamik ist auf 40 dB begrenzt.
Für ein ausgewogenes Klangbild bei Verringerung des Frequenzumfangs elektroakustischer Übertragungsglieder gilt die Faustregel, daß das geometrische Mittel aus der unteren und oberen Grenzfrequenz bei etwa 700 bis 800 Hz liegen soll [2].
Zur Abschätzung der maximal notwendigen Dynamik dient die Originallautstärke als Bezug (Bild 1.2). Bei einem der Originallautstärke entsprechenden Lautstärkepegel von 95 phon am Abhörpunkt im Wiedergaberaum und einem auftretenden akustischen Störpegel von 30 phon in Wohnräumen beträgt der nutzbare

Tabelle 1.1. Pegel und Dynamik akustischer Ereignisse [1]

Schallquelle	Schallpegel L in dB	Schalleistung P in W	Dynamik in dB
Unterhaltungssprache, Mittelwert	68[1])	$7 \cdot 10^{-6}$	
menschliche Stimme, Höchstwert	93	$2 \cdot 10^{-3}$	
Geige, fortissimo	90	$1 \cdot 10^{-3}$	
Klarinette, Pikkoloflöte, Horn, Triangel	107	$50 \cdot 10^{-3}$	
Klavier, Baß-Tuba	110	0,2	
Flügel, Baß-Saxophon, Trompete	115	0,3	
Orchester (15 Musiker), Autohupe	127	5	
Orgel, Trommel, Pauke, fortissimo	130	10	
Orchester (75 Musiker)	133	20	> 75
Spezialautsprecher	140	100	
Alarmsirene, Ultraschallsender	150	10^3	
menschliche Stimme			
Vokale	65 bis 85		
stimmhafte Konsonanten	60 bis 80		60
stimmlose Konsonanten	25 bis 60		
Originallautstärke im Tonstudio produzierter Tanz- und Unterhaltungsmusik am Abhörplatz[3])	max. 95 mittel 85		40[2])

[1]) Werte des Schallpegels gelten für Quellen, die in einem Halbraum strahlen bei einer Entfernung von 0,4 m. Die von der Leistung durchströmte Fläche A_0 ist dann 1 m^2.

Abnahme des Schallpegels bezogen auf $a_0 = 0{,}4$ m in dB	Entfernung in m	Für beliebige Entfernungen a vom Bezugswert a_0 errechnet sich der Korrekturpegel L_{Ka}
0	0,4	$L_{Ka} = 20 \lg \frac{a}{a_0}$ dB
6	0,8	
8	1	
12	1,6	
18	3,2	
22	5	
28	10	
34	20	
40	40	

[2]) für Rundfunksendungen und Schallplatten auf diesen Wert begrenzt

[3]) entspricht einem mittleren Hörplatz im Konzertsaal

Tabelle 1.2. Frequenzumfang einiger Schallquellen

Schallquellen	Frequenzumfang f_u Hz f_0			Bemerkungen
Geräusche				Der Frequenzbereich $f_u \leq f \leq f_0$ beinhaltet die Grundtöne und die harmonischen Obertöne. Der Bereich der Grundtöne liegt um bzw. unterhalb 1 kHz. Wesentliche Ausnahmen sind bei der Orgel (≈8,9 kHz), dem Flügel und der Pikkoloflöte (≈4,5 kHz), der Violine und der Harfe (≈3,3 kHz) zu verzeichnen.
Schlüsselklirren	1100		> 16000	
Händeklatschen	100		> 16000	
menschl. Stimme				
männl. Sprache	100		8900	
weibl. Sprache	160		9500	
Gesang	85		9200	
Musikinstrumente				
Schlagzeug	45		> 16000	
Orgel, Flügel	16		11000	
Streichinstr.	40		9500	
Blechblasinstr.	25		11000	
Holzblasinstr.	25		14000	

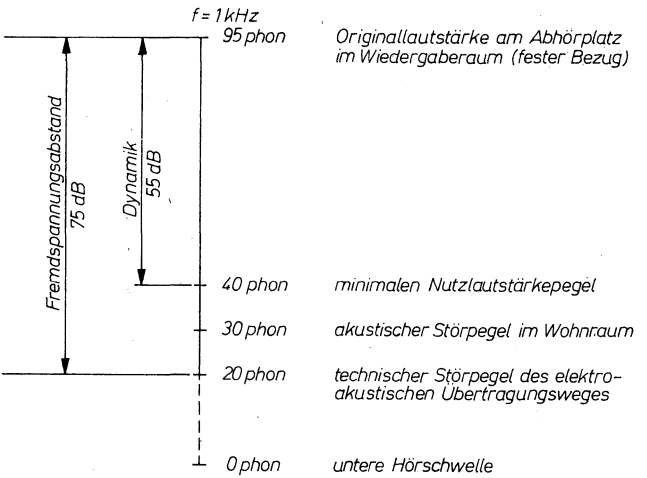


Bild 1.2. Zur Festlegung des zu verarbeitenden Dynamikbereichs eines Tonspeichers

Dynamikbereich etwa 65 dB (bei 1 kHz). Der minimale Nutzschallpegel ist dann gleich dem der Umweltgeräusche, so daß die Verständlichkeit des Nutzschalls unter Umständen (Überdeckung gleicher Frequenzanteile) stark eingeschränkt sein kann.
Es ist deshalb zweckmäßig, die Dynamik z. B. um etwa 10 dB auf 55 dB einzuschränken. Der minimale Nutzpegel ist demzufolge doppelt so laut (f = 1 kHz) wie die Umweltgeräusche, und der Anteil des Störgeräuschs im Gesamtpegel (Störpegel + minimaler Nutzpegel) beträgt nur noch 10 Prozent. Allerdings ist der mittlere Lautstärkepegel auch höher und somit die Gefahr der Lärmbelästigung größer.

1.1.2. Technische Anforderungen

Die einzelnen Glieder einer möglichen Übertragungskette – Mikrofon, Vorverstärker, Stufen der technischen und künstlerischen Beeinflussung (Mischen, Filtern usw.), Aufnahmeentzerrer, Band-Kopf-System, Wiedergabeentzerrer, psychologisch bewertete Lautstärkesteller, Leistungsverstärker, Lautsprecherboxen und Kopfhörer – müssen zur Gewährleistung einer natürlichen Übertragung des schallproportionalen elektrischen Signals den HiFi-Mindestanforderungen nach TGL 28660 (Tabelle 1. 3.) genügen.
Die in einer Magnettonanlage auftretenden Verzerrungen des ursprünglichen akustischen Signals sollen bei der Wiedergabe keinen hörbaren Einfluß auf das Klangbild ausüben. Es sind die Einflüsse der linearen Verzerrungen (Frequenzgang; Dynamik und Tonhöhenbeeinflussung), der nichtlinearen Verzerrungen (zusätzliche Signalanteile, deren Ursprung das Signal selbst ist) und die Fremdgeräusche (signalfremde Geräusche, Rauschen, Brummen usw.) gering zu halten. Bei mehrkanaligen Speichern ist den Pegel- und Phasendifferenzen sowie dem Übersprechen besondere Aufmerksamkeit zu schenken.
Frequenzgangänderungen können bei einem nichtlinearen Verlauf der Verstärkung ($\ddot{u} = f(f)$) von Vor- und Endstufen, Lautsprechern usw. oder ungenügender Entzerrung der durch den Speichervorgang bedingten linearen Verzerrungen (Abschnitt 1. 2. 2.) auftreten.
Einen linearen Frequenzgang bei Vor- und Endstufen zu erzeugen

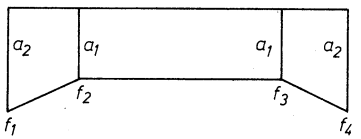
stellt heute kein Problem mehr dar. Schwächstes Glied bleibt der Wandler-Lautsprecher.
Der Frequenzumfang eines Magnetspeichers ist durch die untere und obere Grenzfrequenz bestimmt. Sie kennzeichnen die Punkte, an denen die Übertragungskurve das für Wiedergabe und über Band maximal zulässige Toleranzfeld erstmalig schneidet (siehe Tabelle 1. 3.).
Eine Veränderung der Dynamik ist immer dann erforderlich, wenn der nutzbare Dynamikbereich des Magnettongeräts kleiner als die Dynamik des akustischen Ereignisses ist. Der nutzbare Dynamikbereich wird von der auftretenden Fremdspannung und den bei der Aussteuerung des Band-Kopf-Systems maximal zulässigen nichtlinearen Verzerrungsprodukten vorgegeben. Entsprechend den Bezügen im Bild 1.2 wäre ein Fremdspannungsabstand von 75 dB erforderlich, um eine Dynamik von 55 dB verarbeiten zu können. Die maximal zu verarbeitende Dynamik (Fremdspannungspegel gleich minimaler Nutzpegel) ist dann 75 dB.
Die bei zu geringem Fremdspannungsabstand notwendige Einengung der Dynamik – die leisen Stellen sollen nicht im Rauschen untergehen, die lauten nicht verzerrt werden – kann von Hand (Pegelsteller) oder mittels Regelsystem (Kompressor) geschehen. Der umgekehrte Fall kann bei der Tanzmusik mit einer geringeren Originaldynamik von etwa 40 dB auftreten, wenn es zweckmäßig erscheint, diese zu erweitern. Das kann ebenfalls von Hand oder automatisch mit einem Expander realisiert werden. Dazu sollen kleine und große Pegel im gleichen Verhältnis abgesenkt oder angehoben werden.
Automatische Aufnahmeregler bewirken entsprechend ihrem Regelumfang und dem Verhältnis zur Eingangsspannung eine Dynamikänderung. Sie sollten deshalb auf Handeinstellung umschaltbar sein oder zumindest eine Einstellmöglichkeit für den Kompressionsgrad und den Eingangspegel (Vorpegelregler) besitzen.
Fremdgeräusche sind Störgeräusche. Sie können durch nichtlineare Verzerrungen und von Fremdfeldern hervorgerufen werden bzw. als Knistern, Knacken, Rumpeln, Rauschen, Brummen usw. in Erscheinung treten. Alle diese Signalteile stellen technische Störungen dar und werden als zusätzliches Signal störend empfunden. Wesentlichste Rauschquelle ist das Magnetband. Widerstände, Kontaktstellen (Grenzflächen) und die aktiven Bauelemente tragen ebenfalls zum Gesamtrauschen bei. Nichtlineare Verzerrun-

Tabelle 1.3. Anforderungen an Heim-Tonbandgeräte für MB 6 und MB 4 nach TGL 27616/01 und 02 (Nov. 1980)

Benennung		MB 6 Einheit	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	MB 4 Einheit	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Übertragungsbereich f_1 bis f_4 bei Wiedergabe und „über Band" für die Hauptarbeitsgeschwindigkeit	f_1	Hz	31,5	40	63	Hz	40	63	80
	f_4		18000	12500	10000		12500	10000	8000
Toleranzfeld für die Übertragungskurve bei Wiedergabe und „über Band"[1]	a_1	dB	3	4		dB	4	5	
	a_2		5	7				7	
	f_2	Hz		250		Hz		250	
	f_3		8000	6300			6300		4000
Abnahme der Aussteuerbarkeit der hohen Frequenzen bei 10 kHz		dB	10	–		dB	15	–	
Fremdspannungsabstand bei Wiedergabe „über Band" bei Halbspur		dB	55	50	42	dB	48	43	38
Viertelspur			52	45	40				
Geräuschspannungsabstand bei Halbspur		dB	60	55	50	dB	56	50	43
Viertelspur			58	53	48		52	48	40
Nebenspurdämpfungsmaß bei 1000 Hz		dB	60	55	50	dB	60	50	40
zwischen f_2 und f_3			50	45	40		45	40	
Übersprechdämpfungsmaß bei 1000 Hz		dB	30	25	20	dB	26	20	18
zwischen f_2 und f_3			25	20	15		20	nicht standardisiert	

Löschdämpfungsmaß bei						
Netzbetrieb					65	60
	dB	65	65	60		
Batteriebetrieb					65	60

1)



Zeitkonstanten für den Verlauf des magnetischen Kurzschlußflusses [in μs]

Arbeitsgeschw.	τ_1	τ_2
19	50	
9	90	
4	120	3180
4K	120	
4K	70	

gen entstehen an nichtlinearen Kennlinien des Band-Kopf-Systems und der elektronischen Bauelemente. Fremdfelder üben durch elektrostatisches Aufladen des Bandes während des Transports, durch schlecht kommutierende Motoren oder durch Einstreuung von elektromagnetischen Wellen (z. B. Rundfunksender) auf den gesamten Übertragungsweg eines Bandgeräts einen störenden Einfluß aus. Befindet sich das Abspielgerät im Wiedergaberaum, können durch die Tonmechanik verursachte Geräusche störend in Erscheinung treten.

Der erreichbare Fremdspannungsabstand wird also durch zahlreiche Einflußgrößen bestimmt. An erster Stelle steht aber die mögliche maximale Aussteuerung auf dem Band in Abhängigkeit von der Frequenz und dem aufzuzeichnenden Signalgemisch in bezug auf das Gesamtrauschen des Band-Kopf-Systems. Die Abnahme der Aussteuerbarkeit bei hohen Frequenzen erzwingt eine Untersteuerung des Bandes um den Betrag dieser Abnahme, wenn alle Signalteile des Frequenzgemischs mit gleicher Amplitude auftreten. Es wird demzufolge, bezogen auf die mögliche Aussteuerung der mittleren Frequenzen, ein geringerer Fremdspannungsabstand

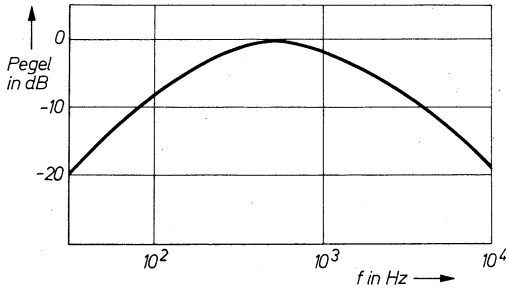


Bild 1.3 Amplitudenstatistik

erreicht. Da aber natürliche Signalgemische keinen linearen Frequenzgang (Amplitudenstatistik, siehe Bild 1.3) aufweisen, ist es möglich, entsprechend dem Programmaterial den Aufzeichnungspegel anzuheben, ohne das Band zu übersteuern. Da dies nur entsprechend der Amplitudenstatistik möglich ist, darf die Abnahme der Aussteuerung bei hohen Frequenzen (und auch die Anhebung der tiefen Frequenzen entsprechend τ_1) einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Die Aussteuerungsanzeige bzw. die Aussteuerungsregelung muß dies berücksichtigen und das Auftreten von Pegeln in den übersteuerungsgefährdeten Bereichen «erkennen».

Sind in der Studiotechnik ohne Rauschminderungssysteme Störspannungsabstände von 68 dB (mono) und 63 dB (stereo) zu erreichen, so sinkt der erreichbare Störspannungsabstand in der Viertelspurtechnik auf etwa 55 dB und in der Stereokassettentechnik auf etwa 43 dB beim Einsatz von «normalen» Eisenoxidbändern. Mit verbesserten Eisenoxidbändern (LN, LH), Chromoxidbändern und Zweischichtbändern, die eine höhere Aussteuerbarkeit, Empfindlichkeit und ein geringeres Grundrauschen aufweisen, kann der Dynamikumfang bis etwa 8 dB bei einer Klirrdämpfung von >30,5 dB ($\triangleq K \leq 3\,\%$) zunehmen. Rauschminderungssysteme gestatten eine weitere Vergrößerung des Geräuschspannungsabstands von etwa 10 dB (Dolby-B-System) bis ca. 20 dB (High-Com-System). Insgesamt ist mit entsprechenden Bändern, Rauschminderungsverfahren und Magnetköpfen mit verbesserten Eigenschaften auch in der Kassettentechnik ein Geräuschspannungsabstand bis 60 dB bzw. 70 dB erreichbar. Geht man davon aus, daß

die kleinste Wiedergabespannung etwa 10 dB über dem Rauschen des Speichers liegen muß, um dieses zu überdecken, ist ein zu speichernder Dynamikumfang von 50 (60) dB möglich. Den Einfluß des Verstärkerrauschens versucht man durch schaltungstechnische Maßnahmen (optimale Rauschanpassung, siehe Abschnitt 6.) auszuschalten. Unsymmetrien des HF-Löschstroms bewirken ebenfalls eine Verringerung des Fremdspannungsabstands (Erzeugung eines Rauschflusses auf dem Magnetband durch Gleichanteile).
Der maximale Teilklirrfaktor k_3 bei Vollaussteuerung darf 3 % bzw. 30,5 dB betragen.

Tonhöhenänderungen treten bei einer Differenz der Transportgeschwindigkeit des Bandes zwischen Aufzeichnung und Wiedergabe auf. Dabei kann zwischen einer konstant falschen Transportgeschwindigkeit, wodurch eine Tonhöhenabweichung entsteht, und kurzzeitigen Änderungen, die als Tonhöhenschwankungen hörbar sind, unterschieden werden.
Um Tonhöhenabweichungen zu vermeiden, soll die Geschwindigkeitsabweichung vom genormten Sollwert gegen Null gehen. Zulässig ist eine Abweichung von einem 1/4-Ton (entspricht 1,2 Prozent). Dies ist erforderlich, um den sonst entstehenden Frequenzfehler beim Austausch von Bändern zu vermeiden. Im allgemeinen wird bei der Wiedergabe einer Eigenaufzeichnung der Frequenzfehler gleich Null sein, da ja die Wiedergabegeschwindigkeit gleich der Aufzeichnungsgeschwindigkeit ist. Der absolute Betrag der genormten Transportgeschwindigkeit muß dann genau eingehalten werden, wenn auf anderen Magnetbandgeräten bespielte Spulen- oder Kassettenbänder wiedergegeben werden sollen. Dies trifft in der Kassettentechnik insbesondere für die industriell bespielten «Musikkassetten» zu. Hochwertige Geräte sollten deshalb eine Kontrolleinrichtung und neben der automatischen Steuer- bzw. Regeleinrichtung zur Geschwindigkeitseinhaltung eine Sollwertfeineinstellung haben.
Gegen Tonhöhenschwankungen ist die menschliche Schallwahrnehmung besonders empfindlich [2]. Die Wahrnehmungsschwelle hängt von der Tonhöhe, der Schwankungsfrequenz und der Lautstärke ab. Die Wahrnehmung tritt bei einer Schwankungsfrequenz von 4 Hz und einer durchschnittlichen Musikmodulation von etwa 0,3 Prozent am stärksten auf. Für alle anderen Schwankungsfrequenzen sind die Störwirkungen bei gleicher Amplitude der Gleichlaufschwankungen kleiner, aber nicht ohne Einfluß auf das

Klangbild. Unter dem Begriff der Gleichlaufschwankungen unterscheidet man vier Hauptgruppen [5]. Je nach Schwankungsfrequenz ist eine Störung als Jaulen, Tremolo, rauher Ton oder als zusätzliches Geräusch hörbar.

Drift
Frequenzmodulation im Bereich unter ca. 0,5 Hz, die als konstanter oder sich langsam ändernder Versatz in der Tonhöhe empfunden wird

Wow
Frequenzmodulation im Bereich von ca. 0,5 Hz bis 10 Hz, die als Fluktuation der Tonhöhe empfunden wird

Flutter
Frequenzmodulation im Bereich von ca. 100 Hz, die als «rauher» Ton empfunden wird

Scrape Flutter
Frequenzmodulation im Bereich über 100 Hz, die als zusätzliches Geräusch empfunden wird, das verschwindet, wenn kein Schall vorhanden ist

Der Gleichlauffehler soll nicht größer als 0,35 Prozent sein. Seine Größe wird von der mechanischen Präzision, Oberflächengüte, Zuverlässigkeit usw. aller am Bandtransport beteiligten Elemente sowie der konstruktiven Auslegung des Laufwerks bestimmt.

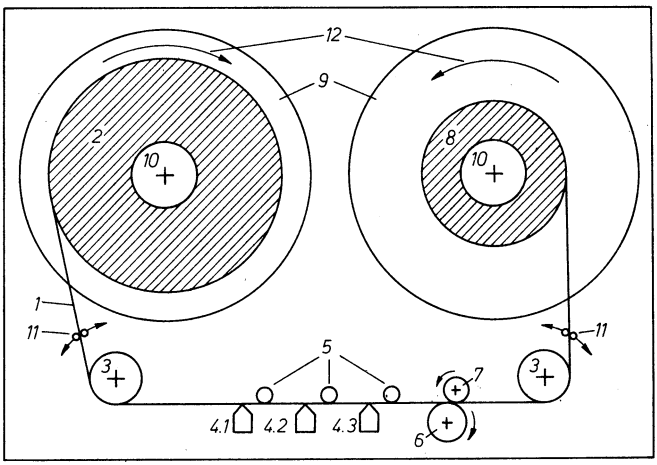
1.2. Prinzip der magnetischen Signalspeichertechnik

An Geräten der magnetischen Tonspeichertechnik lassen sich die drei Grundelemente *Magnetband, Magnetkopf* und *Antriebssystem* unterscheiden. Das magnetisierbare Band ist Träger der zu speichernden Information. Der Magnetkopf wandelt die informationsbehafteten elektrischen und magnetischen Signale ineinander um. Das Antriebssystem sorgt für einen exakten Bewegungsablauf des Magnetbands in der Kopfzone. Das Zusammenwirken dieser drei Elemente bildet eine physikalische Einheit und ist mit *Band-Kopf-System* bezeichnet. Die mechanischen, elektrischen und magnetischen Kennwerte diese Systems sind für die Übertragungsqualität gleichberechtigt verantwortlich.

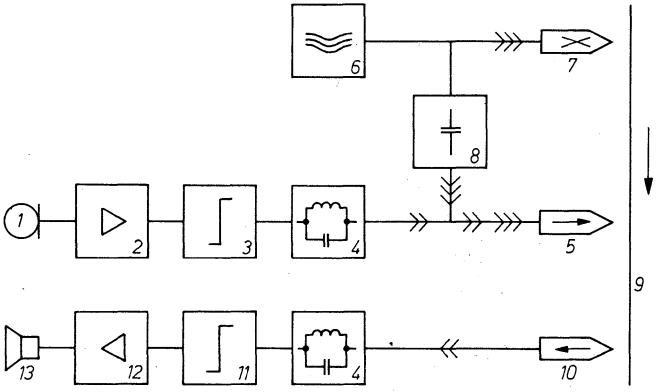
1.2.1. Bewegung des Magnetbands

Für den Aufzeichnungs- und Wiedergabevorgang ist eine konstante Relativbewegung zwischen den Magnetköpfen und dem Magnetband erforderlich. In der magnetischen Tonspeichertechnik wird das Magnetband an den feststehenden Magnetköpfen vorbeibewegt.

Eine für die Verwendung als Tonspeicher in der Studiotechnik übliche Anordnung zeigt Bild 1.4 a. Das Magnetband *1* läuft vom Abwickel *2* über eine Umlenkrolle *3* an den Magnetköpfen *4* vorbei. Zur Gewährleistung eines einwandfreien Bandlaufs über das Kopfsystem ist eine konstante Zugspannung vor und hinter den Magnetköpfen erforderlich. Da sich der Wickeldurchmesser der Abwickelseite und der der Aufwickelseite gegenläufig ändern, müssen treibende und bremsende Momente an den beiden Wickelaufnehmern mit dem Durchmesser variieren, d. h. in geeigneter Weise geregelt werden. Dadurch ist der notwendige gleichmäßige Band-Kopf-Kontakt gewährleistet. Die Führungsstifte *5* bewirken die richtige und gleichmäßige Höhenlage vor den Köpfen. Eine Gummiandruckrolle *6* drückt das Magnetband gegen die Tonwelle *7*, die für den Betrag der Transportgeschwindigkeit verantwortlich



a)



b)

Aufzeichnungskanal

1 *Mikrophon*

2 *Vorverstärker*

U_a — f

3 *Aufzeichnungs-verzerrer*

I_z — f

4 *Sperrkreis für HF*

U_a — f

5 *Aufzeichnungskopf*

I_z — f

6 *Lösch- und Vormagnetisierungs-generator*

7 *Löschkopf*

8 *Sperrkreis für NF*

I_v — f

9 *Magnetband mit const. Transportgeschw.*

Φ — $\mathfrak{T}_1$ — $\mathfrak{T}_2$ — f

Wiedergabekanal

10 *Wiedergabekopf*

U_w — f

11 *Wiedergabeentzerrer*

U_a — f

12 *Linearverstärker (z.B. Leistungs-verstärker)*

U_a — f

13 *Lautsprecher*

Ausgangspegel

L — f

c)

Bild 1.4 Prinzip eines 3-Motoren-Laufwerks mit 3-Kopf-System; a – Laufwerk: 1 – Magnetband, 2 – Vorratswickel, 3 – Umlenk- und Führungsrollen, 4.1 – Löschkopf (LK), 4.2 – Aufzeichnungskopf (AK), 4.3 – Wiedergabekopf (WK), 5 – Führungsstifte, 6 – Andruckrolle, 7 – Bandantriebswelle (Tonmotor), 8 – Aufwikkel, 9 – Bandteller mit Aufnahmevorrichtung für den Wickelkern, 10 – Wickelkern, 11 – Bandzugsfühler, 12 – Richtung des Drehmoments der Wickelmotore in der Betriebsart «Konstanter Vorlauf», b – Elektronik, c – Darstellung des Übertagungsverhaltens der Teilbaugruppen

ist. Über eine weitere Umlenkrolle *3* gelangt das Magnetband auf den Aufwickel 8.
Bild 1.4 b zeigt das zugehörige Prinzipschaltbild der Elektronik eines Dreikopfsystems mit der Darstellung des Übertragungsverhaltens. Der prinzipielle Aufbau der einzelnen Magnetköpfe ist gleich. Sie unterscheiden sich in ihrer konstruktiven Ausführung entsprechend den funktionellen Erfordernissen des Speichervorgangs. Für die notwendigen Funktionen Aufzeichnung, Wiedergabe und Löschen ist je ein Kopf vorhanden, denen die Elektronik mit getrenntem Aufzeichnungs- und Wiedergabekanal zugeordnet ist.

1.2.2. Prinzipieller Speichervorgang

Das auf ein Mikrofon auftreffende Schallsignal $S_E(t)$ wird in ein elektrisches Signal $U_E(t)$, das den zeitlichen Druckschwankungen proportional ist, umgewandelt. Diese elektrischen Schwingungen werden verstärkt und dem Aufzeichnungskopf zugeführt (Bild 1.5). Der durch den Aufzeichnungskopf fließende Wechselstrom $I_z(t)$ erzeugt ein Magnetfeld $H(t)$, das aus einem unmagnetischen Kopfspalt austreten kann und auf das Magnetband einwirkt. Es wird auf dem Magnetband der magnetische Fluß $\phi(I_z)$ mit den örtlichen Magnetisierungsabschnitten $M(x, y, z)$ – Bild 1.6 – zurückgelassen. Die Periodenlänge eines magnetisierten Abschnitts bezeichnet man mit aufgezeichneter Wellenlänge λ. Bei einer Wiedergabe schließt sich der Fluß des Bandes über den Kern des Wiedergabekopfes kurz und induziert in der Wicklung eine Spannung $U_w(t)$. Das verstärkte elektrische Signal wandelt der Lautsprecher in ein Schallsignal $S_A(t)$ um. Das Ausgangsschallsignal ist dem Eingangsschallsignal, konstante und gleiche Transportgeschwindigkeit bei Aufnahme und Wiedergabe vorausgesetzt, zeitlich proportional.
Um auch Proportionalität der Schallintensitäten $J(f)$ zu erhalten, müßte der Fluß auf dem Magnetband mit 6 dB je Oktave fallen ($I_z \sim 1/\omega L$, ideales BKS; Bild 1.7 a), da die Leerlaufwiedergabespannung ($U_w \sim d\phi/dt$) am Wiedergabekopf mit 6 dB je Oktave bei zunehmender Frequenz und konstantem Fluß ($\phi(f)$ = konstant) steigt. In der Praxis strebt man jedoch einen konstanten Strom durch den Aufzeichnungskopf an. Den sich dabei ergebenden prin-

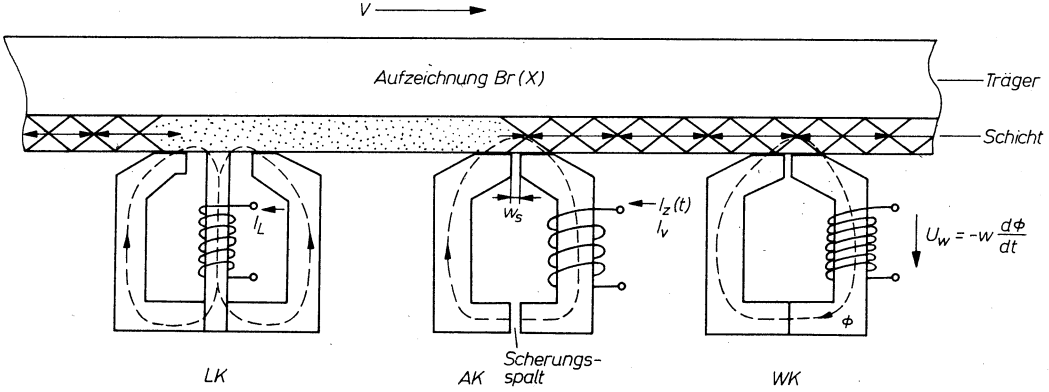


Bild 1.5 Prinzip des Aufzeichnungsvorgangs

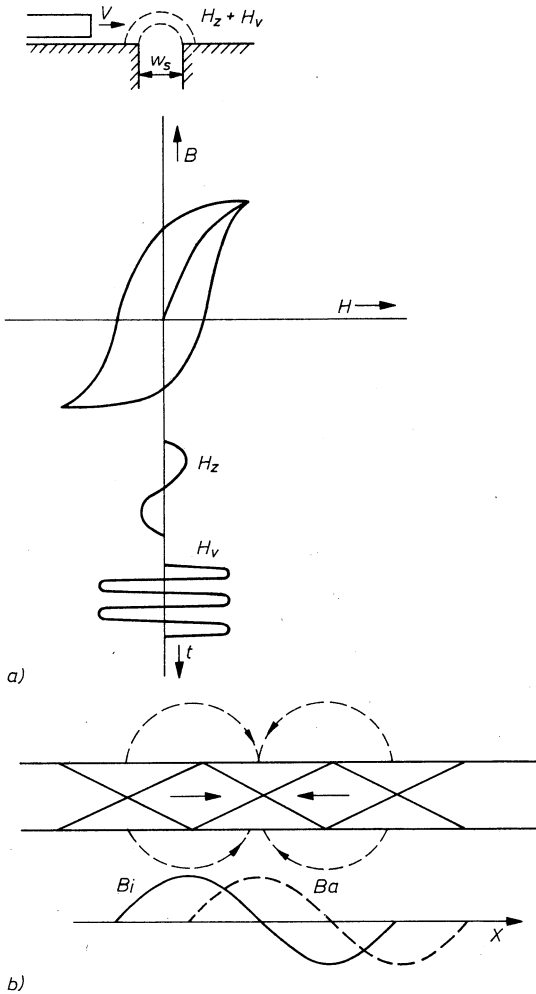
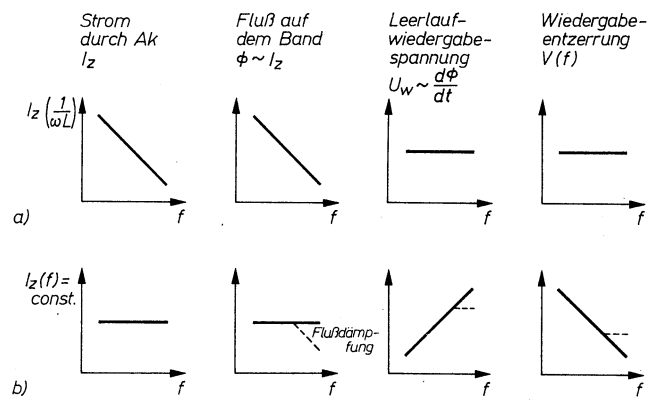


Bild 1.6 Aufzeichnung mit Wechselfeld-Vormagnetisierung; a – allgemeine Bedingung für die Aufzeichnung: $H_v \gg H_z, f_v \gg f_z$, b – Darstellung des Speicherzustands – zwischen der inneren Bandflußdichte ($B_i = \phi/d_o h_B$) und der äußeren Bandflußdichte ($B_a = \phi/\Delta x h_B$) besteht eine Phasenverschiebung von 90°. Eine Selbstentmagnetisierung findet in der von der eingeprägten Magnetisierung abhängigen Höhe statt.

zipiellen Verlauf des Flusses $\phi(I_z)$ auf dem Magnetband zeigt Bild 1.7 b. Wegen der aufnahmeseitigen Verluste des Band-Kopf-Systems und zum Erreichen eines standardisierten Flusses (Austauschbarkeit) auf dem Magnetband ist eine Verzerrung des Aufzeichnungsstroms erforderlich. Bei der Wiedergabe muß eine Entzerrung wegen des ω-Gangs, der wiedergabeseitigen Verluste und entsprechend dem standardisierten Bandfluß vorgenommen werden (Bild 1.7 c, d, e). Der standardisierte Bandflußverlauf berücksichtigt mit der Anhebung unterhalb der Frequenz f_1, daß wiedergabeseitig dieser Frequenzbereich abgesenkt werden kann und damit Einflüsse wie Brummeinstreuung und Funkelrauschen weniger in Erscheinung treten. Die Absenkung des Bandflusses oberhalb der Frequenz f_2 entspricht den Eigenschaften des Band-Kopf-Systems bei kleinen Wellenlängen. (Flußdämpfung; Anhebung des Aufzeichnungsstroms zur Kompensation der Verluste; bei vertretbarem Fremdspannungsabstand des Aufzeichnungsverstärkers und zum Vermeiden von Übersteuerungseffekten in der Spaltzone des Aufzeichnungskopfes nur bedingt möglich.)
Zur Minderung der nichtlinearen Verzerrung auf dem Band wird dem Aufzeichnungsstrom ein hochfrequenter Strom überlagert. Dieser sogenannte Vormagnetisierungsstrom (I_v) bewirkt eine Linearisierung der Aussteuerungskennlinie der Magnetschicht, so daß eine größere Aussteuerung bei geringerem Klirrfaktor möglich ist. Die Beeinflussung der Aussteuerbarkeit erfolgt für kleine



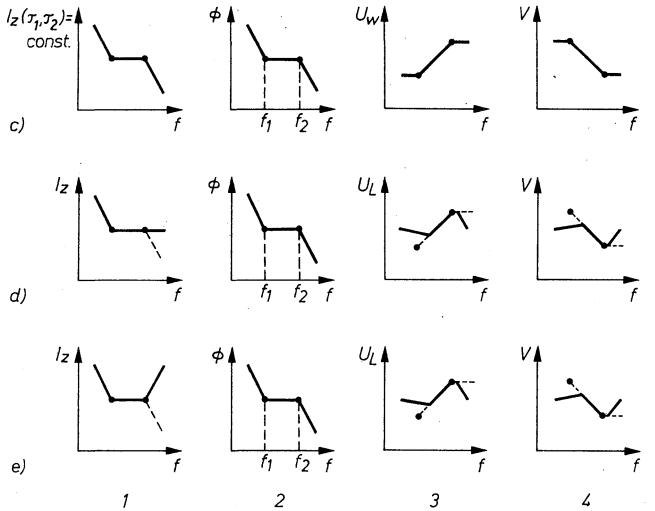


Bild 1.7 Amplitudenverlauf im Band-Kopf-System; a – ideales, verlustloses Band-Kopf-System, b – verlustloses Band-Kopf-System $\phi \sim I_z$ = konstant, c – Band-Kopf-System mit aufnahmeseitiger Kompensation der Kontaktverluste oberhalb f_2 sowie des wiedergabeseitig wirksamen Einflusses der Spiegelfunktion um f_1 und der Spaltfunktion oberhalb f_2, d – Band-Kopf-System mit Kompensation weiterer aufnahmeseitiger Verluste (Vormagnetisierungslöschung, Selbstentmagnetisierung) und anderer Verluste

1) Die Frequenzen f_1, f_2 entsprechen den Zeitkonstanten τ_1 eines RC-Glieds in Reihenschaltung und τ_2 eines RC-Glieds in der Parallelschaltung, die den hier idealisierten Übertragungsverlauf erzeugen können.

$$\tau = RC = \frac{1}{2\,\pi f}$$

f_1, f_2 kennzeichnen die Punkte der Übertragungskurven, an denen eine Abweichung vom linearen Verlauf von 3 dB ($|R| = |X_c|$) auftritt.

und große Wellenlängen gegenläufig. Mit größer werdendem Vormagnetisierungsstrom erhöht sich die Aussteuerbarkeit der Signale mit großen Wellenlängen, und es verringert sich die der kleinen Wellenlängen. Für jede Wellenlänge (λ_n) existiert ein relatives Maximum, das beim Bezugsvormagnetisierungsstrom liegt ($I_{v0\lambda n}$). Die nichtlinearen Verzerrungen (Klirrdämpfung D_{k3}) und der Fremdspannungsabstand auf dem Band sind von der Größe des Vormagnetisierungsstroms abhängig.

Zur möglichst vollständigen Beseitigung einer Aufzeichnung ist es erforderlich, die Magnetschicht bis in die Sättigung zu magnetisieren und diese Magnetisierung auf Null abklingen zu lassen. Dazu speist man einen gesonderten Kopf, den Löschkopf, mit einem Wechselstrom, der auf die einzelnen Magnetisierungsabschnitte beim Passieren des Arbeitsspalts mehrmals einwirken kann. Der Betrag des Löschstroms ist von der aufgezeichneten Wellenlänge, der Transportgeschwindigkeit, der Spaltweite des Löschkopfes, der Löschfrequenz und der Art der Magnetschicht abhängig.

1.3. Überblick zur Geräte- und Schaltungstechnik

Magnetbandgeräte, hauptsächlich für die Aufzeichnung von Musik, lassen sich nach ihrem Anwendungsgebiet in Studio- und Heimtongeräte unterteilen. Für beide Anwendungsbereiche sind als Mindestanforderungen an die Übertragungsgüte entsprechende Standards gültig. In der Studiotechnik steht die Qualität der Aufzeichnung und in der Heimtontechnik die Ökonomie im Vordergrund. Eine weitere Unterteilung ist nach der Art der Bandaufnahmen in Spulen- und Kassettengeräte üblich. Letztere Techniken sind heute durch eine gute Qualität der elektroakustischen Übertragungseigenschaften und hohen Automatisierungsgrad gekennzeichnet. Wesentliche Kennzeichen zur Einordnung eines Schallspeichers sind die konstruktiven Ausführungen bezüglich des Band-Kopf-Systems.

1.3.1. Konstruktive Merkmale des Band-Kopf-Systems

Konstruktive Merkmale eines Band-Kopf-Systems sind die Arbeitsgeschwindigkeit, die Breite des Bandes, die Anzal der Magnetspuren auf dem Band und der Kopffunktionssysteme (z. B. je ein System für die Funktionen *Löschen, Vormagnetisieren, Aufzeichnen* und *Wiedergeben*) sowie die Anzahl der gleichzeitig benutzten Spursysteme der Köpfe (mono, stereo, quadro, playback usw.).
Bei den meisten verwendeten Laufwerken der magnetischen Tonspeichertechnik ist die Arbeitsgeschwindigkeit des Band-Kopf-Sy-

Tabelle 1.4. Genormte Transportgeschwindigkeiten und deren häufigste Anwendung

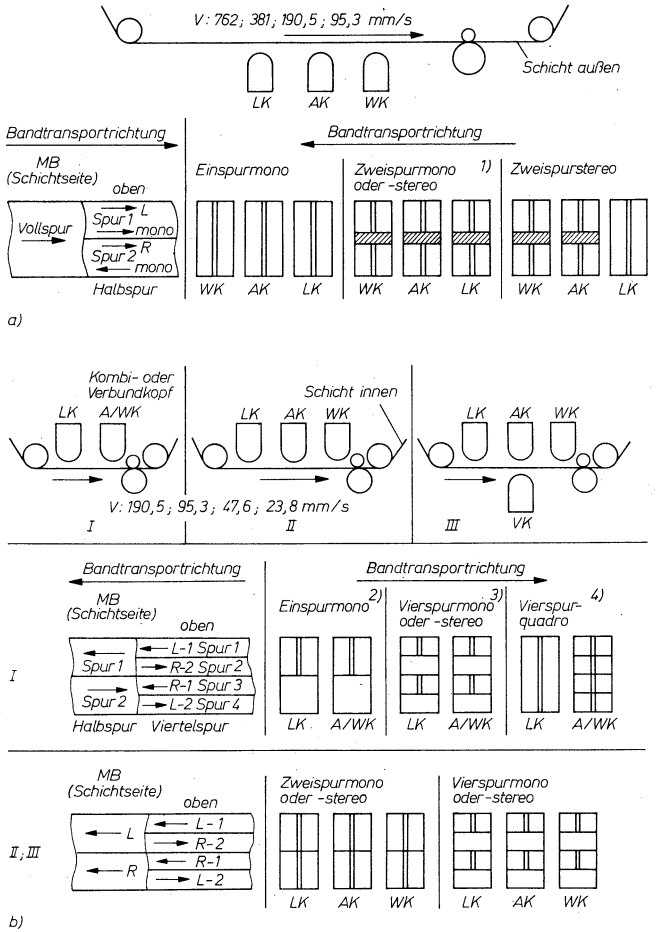
Klasse	Bandgeschwindigkeit v_B mm/s	inch/s (ips)	Hauptanwendung
2	23,81	0,938	Sprache, Spule, (Kassette)[1] Diktiergeräte
4	47,63	1,875	Musik, Spule, Kassette Heimtongeräte[2]
9	95,25	3,750	Spule, Heimtongeräte[2]
19	190,50	7,500	Spule, Kernwickel, Heim-[3], und Studiogeräte
38	381,00	15,00	Kernwickel, Studio
76	762,00	30,00	Kernwickel, Studio (veraltet)

[1] nicht genormt
[2] HiFi-Qualität erreichbar
[3] Studioqualität erreichbar

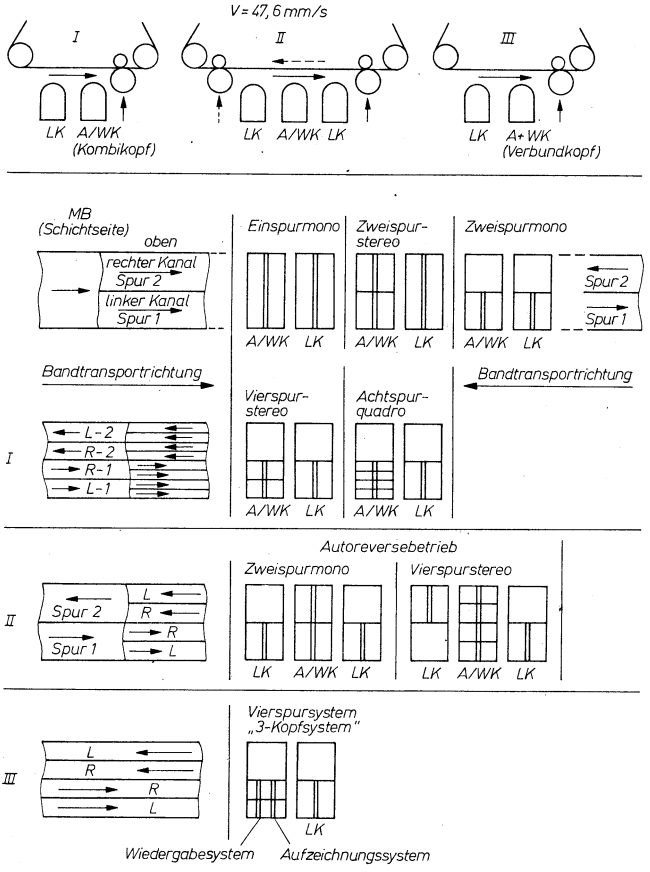
stems gleich der Transportgeschwindigkeit des Bandes. Tabelle 1.4. enthält die genormten Transportgeschwindigkeiten mit den häufigsten Anwendungsbereichen.
Die einzelnen Funktionskopfsysteme können je in einem Kopf oder in Kombi- bzw. Verbundköpfen untergebracht sein.
Die Bilder 1.8 a bis c zeigen übliche konstruktive Anordnungen von Köpfen mit den entsprechenden Funktionen der Studio- sowie der Heimspulen- und Kassettentechnik sowie der prinzipiellen Spuraufteilung und Zuordnung der Kopfspursysteme verschiedener Ausführungsformen von Band-Kopf-Systemen.

1.3.2. Studiotechnik

Studiogeräte haben zur Realisierung der Forderungen an die mechanischen Parameter ein Mehrmotorenlaufwerk. Es werden 3 und 4 Motoren eingesetzt. Der Tonmotor sorgt für den konstanten Bandvorlauf. Es ist die Transportgeschwindigkeit von 381 mm/s genormt (1956). Davor waren Transportgeschwindigkeiten von 762 und 770 mm/s üblich. Prinzipiell wäre es beim heutigen Stand der Technik möglich, auf 190,5 mm/s umzurüsten. Dies würde aber das Schneiden der Bänder erschweren. Um einen unhörbaren Schnitt zu erreichen, sind mindestens 381 mm/s notwendig. Für



Reportagezwecke wird eine Transportgeschwindigkeit von 190,5 mm/s und 95 mm/s angewandt. Um mit einem Transportwerk für die Bearbeitung von Aufzeichnungen mit unterschiedlicher Transportgeschwindigkeit auszukommen, sind Mehrgeschwindigkeitslaufwerke entwickelt worden. Für das Rangieren des Bandes in beide Richtungen ist je ein Motor vorgesehen, auf dessen Achse



c)

Bild 1.8 Konstruktive Anordnung von Band-Kopf-Systemen; a – MB 6, b – Heimtontechnik MB 6, c – Kompaktkassettentechnik MB 4 (Bild II: linken LK um 180° drehen!)

sich der Bandwickel befindet. Speziell bei Mehrgeschwindigkeitslaufwerken ist es notwendig, neben den üblichen Kernwickeln, auf die das Band freitragend aufgespult ist, auch Spulenbänder zu verwenden. Auf diesen Geräten lassen sich durch das Entfernen der Aufnahmevorrichtung des Kernwickels, der sich auf einem Dreizack zur Spulenaufnahme befindet, auch Spulen auflegen (Bild

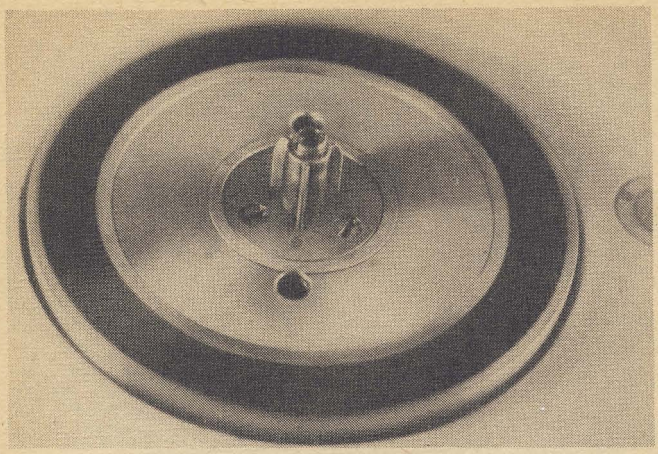


Bild 1.9 Anpassung der Aufnahmevorrichtung für Kernwickel auf Spulenaufnehmer. Der Bandteller kann mit einer Rändelschraube auf der Aufnahmevorrichtung mit Dreizack gesichert werden

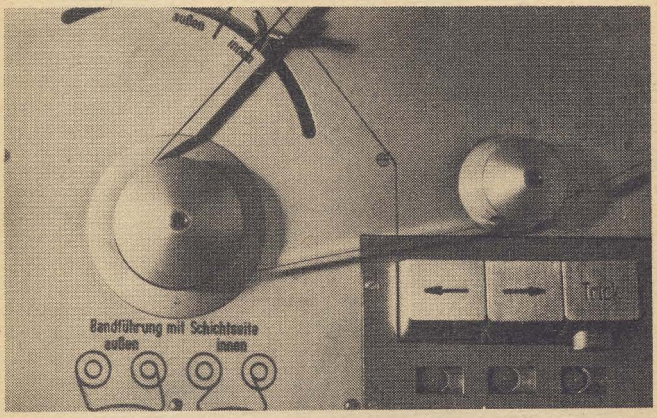


Bild 1.10 Dreigeschwindigkeitsstudiolaufwerk für Magnetbänder mit der Schichtlage außen (Kernwickel) und innen (Spule). Mit dem Fühlhebel für die Bandzugsregelung ist das Umschalten der Drehrichtung der Wickelmotoren gekoppelt

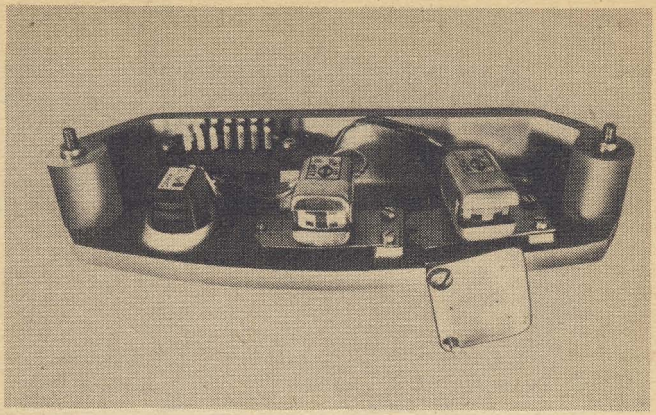


Bild 1.11 Älterer Studiokopfträger (Auf 2 Halbspur-Köpfe umgerüstet)

1.9). Dazu ist das Drehmoment der Wickelmotoren auf die meist dünneren Spulenbänder umschaltbar. Einen annähernd konstanten Bandandruck an die Köpfe gewährleistet eine vom Wickeldurchmesser (Fühlhebel) abhängige Steuerung des entgegenwirkenden Drehmoments des Abwickelmotors (Stufenschalter). Um von Störgrößen unabhängig zu sein, werden auch Bandzugsregelungen realisiert (Bild 1.10)

Auf dem Laufwerk befindet sich der Magnetkopfträger (Bild 1.11), der je einen Kopf für die Funktionen *Löschen, Aufnahme* und *Wiedergabe* enthält. Es können noch weitere Köpfe, z. B. für die Pilotspur beim Synchronisieren von Filmen im Zweibandverfahren, eingebaut werden. Für Monoaufzeichnungen wird die gesamte Breite (Vollspur oder Halbspur) des Magnetbandes (6,25 mm) genutzt. Für Stereoaufzeichnungen ist es in zwei Spuren aufgeteilt. Für Aufzeichnung und Wiedergabe sind je Kanal getrennte Entzerrerverstärker vorhanden. Der Aufnahmeeinschub enthält den HF-Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator. Weitere Einschübe können einen Kompander bzw. einen Expander zur Rauschminderung nach dem *Dolby-A*-System enthalten. Zum Mithören beim schnellen Vor- und Rücklauf ist eine Cue-Einrichtung vorhanden. Um den Schnitt zu erleichtern, sind die Wickel von Hand drehbar, und Bandlängenanzeiger, in Minuten und Sek-

kunden geeicht, ermöglichen das Auffinden von bestimmten Bandstellen.
Die weitere Entwicklung der Studiotechnik geht dahin, die Erfahrungen der Technik der magnetischen Bildaufzeichnung zu nutzen und die NF-Signale nicht mehr direkt, sondern kodiert-digital zu speichern. Dadurch lassen sich viele NF-Kanäle mit großem Frequenzbereich und sehr hohem Signal-Rausch-Abstand auf einem Magnetband unterbringen.

1.3.3. Heimtontechnik – allgemein

Heimmagnetbandgeräte werden von komfortablen, hochwertigen Heimstudiogeräten bis zu einfachen Gebrauchsgeräten hergestellt. Sie weisen aus ökonomischen Gründen Vereinfachungen auf, ohne jedoch die elektroakustischen Parameter wesentlich einzuengen. So ist die Transportgeschwindigkeit durch fortlaufendes Halbieren 762 mm/s der ersten Studiomaschinen bis auf 23,8 mm/s für Diktiergeräte heruntergesetzt und damit die Spieldauer bei gegebener Bandlänge verlängert worden. Durch das Verringern der Spurbreite wurde bei Beibehaltung der Bandbreite die Anzahl der Spuren und damit eine weitere Verlängerung der Spieldauer erreicht. Die sich durch die geringere Spurbreite ergebende höhere Wiedergaberauschspannung versucht man durch verbesserte Bandmaterialien auszugleichen.
Das 6,25 mm breite Magnetband ist auf Kernwickel mit Randschutz gespeichert.
In der einfachen Heimtontechnik werden mit nur einem Motor die Funktionen *Schneller Vor-* und *Rücklauf* und *Konstanter Bandvorlauf* durch Umschalten der Mechanik erreicht. Die Mängel des Direktantriebs, z. B. beim BG 19[1)], sind mit dem indirekten Antrieb, z. B. beim BG 26[2)], vermeidbar. Mehrgeschwindigkeitslaufwerke lassen sich durch Polumschaltung des Antriebsmotors, z. B. BG 20[2)] (*Smaragd*), realisieren. Als günstiger hat sich eine mechanische Umschaltung erwiesen, wie sie beim B 43 (*Tesla*) angewendet wird (Bild 2.3 c).
Eine Schwungmasse gewährleistet gute Gleichlaufstabilität. In

[1)] (ehem. *Funkwerk* Leipzig)
[2)] (VEB *Meßgerätewerk* Zwönitz)

tragbaren Geräten ist sie mittels Kopplung zweier gegenläufiger Schwungmassen gegeben.
Ein inniger Band-Kopf-Kontakt wird u. a. mit einem Andruckfilz erreicht. Die Rutschkupplung der Abwickelseite bewirkt den notwendigen Bandzug. Mit Fühlhebelbremsen, z. B. BG 26, B 93 (*Tesla*) wird bei hochwertigen Geräten ein gleichmäßigerer Bandzug bewirkt. Näheres zur Mechanik ist in Abschnitt 2. enthalten.
Die Transportgeschwindigkeiten sind: 190,5 mm/s – zu bevorzugen bei Stereohalbspur (genauer Bandschnitt möglich) und bei Stereoviertelspur (Verkürzung der Fehlstellen); 95,3 und 47,6 mm/s – zu bevorzugen bei Halbspurbetrieb. Es ist mit allen drei Geschwindigkeiten der HiFi-Standard erreichbar. Die Transportgeschwindigkeit 23,8 mm/s ist für die Sprachaufzeichnung zu Informationszwecken zu nutzen (z.B. für automatische Telefongesprächaufzeichnung).
Einfache Heimtongeräte sind mit einem umschaltbaren Aufnahme-/Wiedergabeentzerrerverstärker (Bild 1.12) in Verbindung mit einem kombinierten Aufnahme-/Wiedergabekopf (Kombikopf) bestückt. Im Gegensatz zur Studiotechnik, in der die Band-

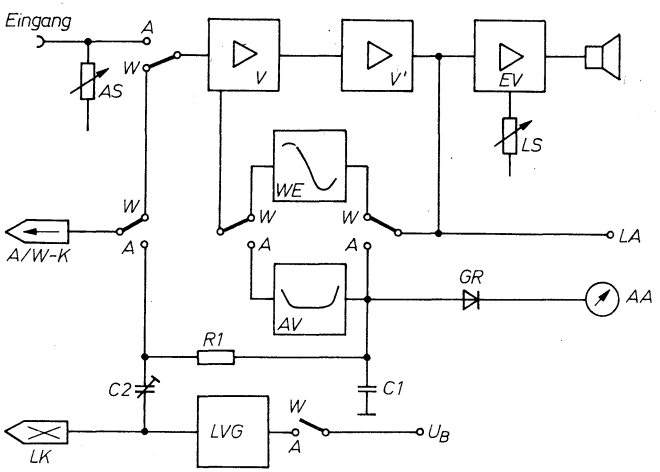


Bild 1.12 Umschaltbarer A/W-Verstärker in einfachen Heimtongeräten

länge in Zeiteinheiten angezeigt wird, haben Heimtongeräte meist einfache, von der Aufwickelseite getriebene Zählwerke.
Laufwerke der Kassettentechnik kommen im allgemeinen mit einem spannungsgeregelten Kleingleichstrommotor für alle Laufunktionen aus. Die Transportgeschwindigkeit des 3,81 mm breiten, in einer Kompaktkassette untergebrachten Bandes beträgt 47,6 mm/s. Das Gehäuse der Kassette besteht aus zwei, meist verschraubten Kunststoffhalbschalen. Das Magnetband ist auf Kernwickel ohne Randschutz gewickelt und mit diesen fest verbunden. Zur Verringerung der Reibung des Bandes an den Kasseteninnenflächen ist zwischen den Bandwickeln und den Halbschalen je ein Kunststoffplättchen eingefügt. Das Band liegt mit der Schichtseite außen. Es wird über kleine Plastumlenkrollen geführt. Eine Feder mit Andruckfilz drückt das Band gegen den Kombikopf. Hinter der Feder befindet sich eine magnetische Abschirmung. SM-Kassetten sind mit Bandspannern ausgerüstet, die das Band straffen und damit die Konstanz des Bandandrucks verbessern. Dazu ist es notwendig, das Band nach dem Einlegen der Kassette durch kurzzeitiges Rückspulen zu straffen. An der Rückseite befinden sich zwei aussparbare Laschen. Entfernt man diese, kann in die entstehende Öffnung ein Fühlhebel einrasten. Dieser blockiert die Aufzeichnungsfunktion und verhindert ein unbeabsichtigtes Löschen einer Aufzeichnung. Bei Chromdioxidkassetten können zwei weitere Aussparungen zur automatischen Eisen-Chrom-Umschaltung genutzt werden. An der Vorderseite der Kassette befinden sich die Öffnungen für die Andruckrolle(n) und Lösch- bzw. Aufnahme-/Wiedergabeköpfe.

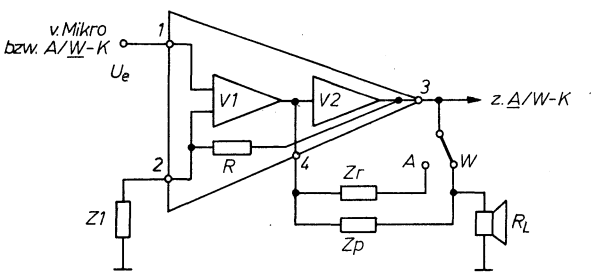


Bild 1.13 A/W-Entzerrung mit integriertem Leistungsverstärker [6]; mit Z_1 und R_1 – lineare Verstärkung, mit Z_r und Z_p – A/W-Entzerrung

Die Elektronik für den Aufnahme-/Wiedergabevorgang besteht in einfachen Geräten aus einem umschaltbaren Verstärker. Der Löschgenerator kann separat aufgebaut sein. Üblich ist es auch, die NF-Endstufe in der Funktion Aufzeichnung als HF-Generator zu schalten. Bild 1.13 zeigt das Prinzip der Elektronik eines einfachen Kassettengeräts.

1.3.4. HiFi-Technik

Spulengeräte der Heimstudiotechnik sind analog der Studiotechnik mit drei Köpfen für die einzelnen Funktionen und getrennten A/W-Verstärkern ausgerüstet. Sie enthalten auch Bedienelemente zur Umschaltung auf andere Entzerrernormen (Wiedergabe) und zur Anpassung der Elektronik an die verschiedenen Bandsorten (Aufzeichnung). Der Vormagnetisierungsstrom und der Aufsprech- und Wiedergabepegel sind bei Mehrgeschwindigkeitslaufwerken korrigiert. Für die Aussteuerung des Pegels sind getrennte Steller und Anzeigeninstrumente vorhanden. Das Mithören über Kopfhörer ist vor und hinter Band möglich. Aussteuerungsautomatiken sind auf Hand umschaltbar ausgelegt.
Kassettengeräte der Spitzenklasse [7] weisen keinen hörbaren Unterschied zur Spulentechnik auf, jedoch sind durch die geringere Bandgeschwindigkeit und Spurbreite keine Reserven vorhanden. Es sind ein hoher Aufwand an Elektronik, eine sehr präzise Mechanik sowie gut laufende Kassetten notwendig. In Verbindung mit SM-Kassetten und sehr gutem Bandmaterial (Eisen/Chromband), dem Einsatz eines zweiseitigen Rauschminderungsverfahrens (*Dolby-B*-Systems) und speziellen, abriebfesten Magnetköpfen (Glasferrite) sind Frequenzgänge von 20 bis 17000 Hz bei einem Signal-Rausch-Abstand größer 60 dB und einem Klirrfaktor kleiner 2 Prozent zu erreichen.
Konstruktions- und Schaltungsdetails dieser Geräteklasse sind Mehrmotorenlaufwerke (z. B.TC-229 SD aus Japan, [8]). Bandriß- und Bandendabschaltung, Bandlängenanzeige, Pausenfunktion, Auslegung der Mechanik für Gleichlaufschwankungen kleiner 0,2 Prozent sowie automatische Bandsortenumschaltung und zusätzliche Möglichkeiten der individuellen Wahl der Vormagnetisierung, Aussteuerungsregelung des Aufnahmepegels und Anzeige seines Effektivwerts durch Indikatoren mit zusätzlicher Spitzenwertüberwachung durch Leuchtdioden.

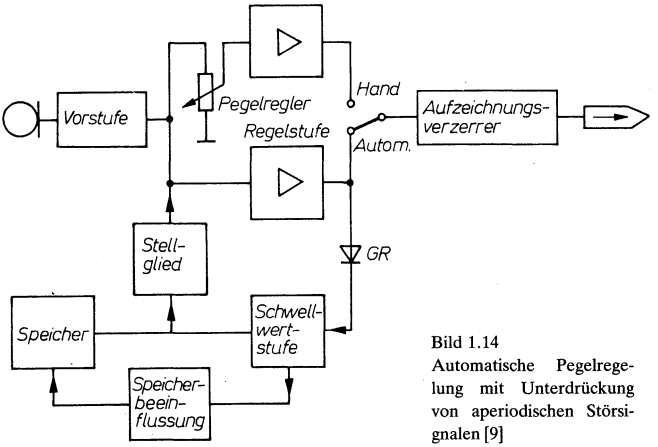


Bild 1.14
Automatische Pegelregelung mit Unterdrückung von aperiodischen Störsignalen [9]

Bild 1.14 [9] zeigt das Prinzip einer automatischen Aussteuerungsregelung, die optimale Eigenschaften dieser Funktion gewährleistet. Eine gute Funktion der Pegelregelung wird einmal durch die Wahl des Bezugspunktes vor dem frequenzgangbeeinflussenden Aufzeichnungsentzerrer und zum anderen durch eine Trennung von aperiodischen Störsignalen aus dem periodischen Nutzsignal erreicht. Die frequenzlineare NF-Spannung wird gleichgerichtet und in der Schwellstufe mit dem der Vollaussteuerung entsprechenden Schwellwert verglichen. Bei Überschreiten dieses Wertes bewirkt das Stellglied eine Verstärkungsminderung im Aufzeichnungszweig. Die Speicherbeeinflussung (Zeittorschaltung) unterscheidet das Stör- vom Nutzsignal und beeinflußt den Speicher in der Art, daß der vom Störimpuls verursachte Ladungsfluß in den Speicher kompensiert wird. Kurze Störimpulse haben damit keinen Einfluß auf das Regelverhalten, wodurch die Dynamik einer Aufzeichnung erhalten bleibt.
Speziell durch die integrierte Schaltungstechnik ist es ökonomisch sinnvoll, auch bei Band-Kopf-Systemen mit einem Kombikopf getrennte A/W-Verstärker einzusetzen. Bild 1.15 zeigt dazu ein Beispiel. Weiter ist es sinnvoll, mit dem Einsatz der Mikroelektronik die Betriebsfunktionen elektronisch zu verriegeln. So ist es möglich, diese durch Sensoren oder Kurzhubtasten, also mit minimalem Kraftaufwand, auszulösen. Wesentlicher ist die Möglich-

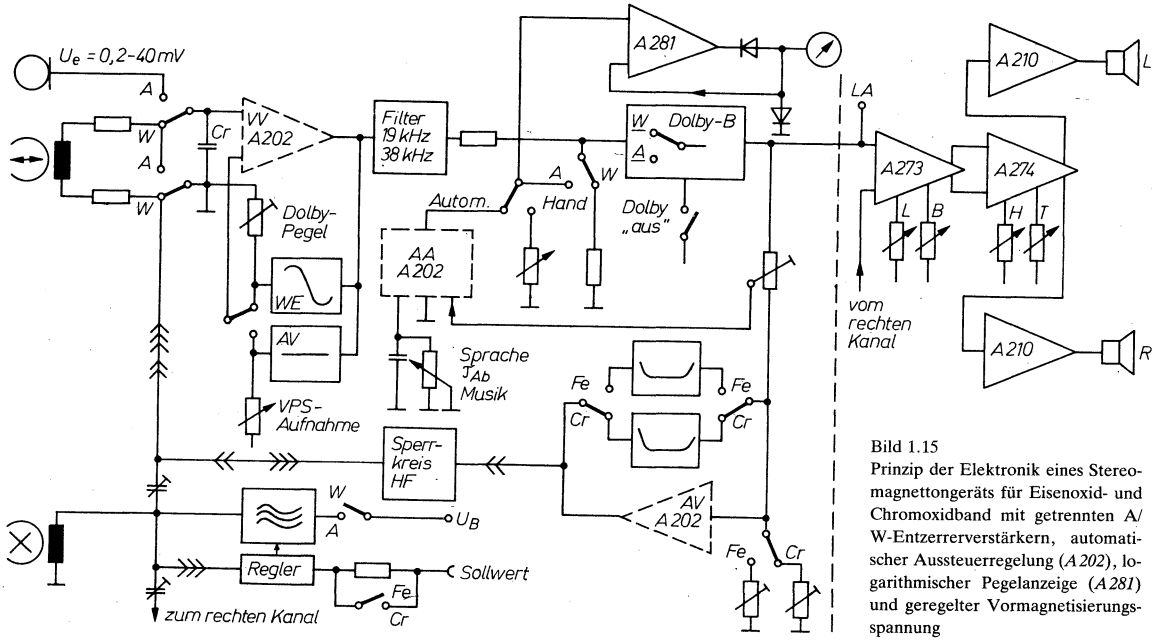


Bild 1.15
Prinzip der Elektronik eines Stereomagnettongeräts für Eisenoxid- und Chromoxidband mit getrennten A/W-Entzerrerverstärkern, automatischer Aussteuerregelung (*A 202*), logarithmischer Pegelanzeige (*A 281*) und geregelter Vormagnetisierungsspannung

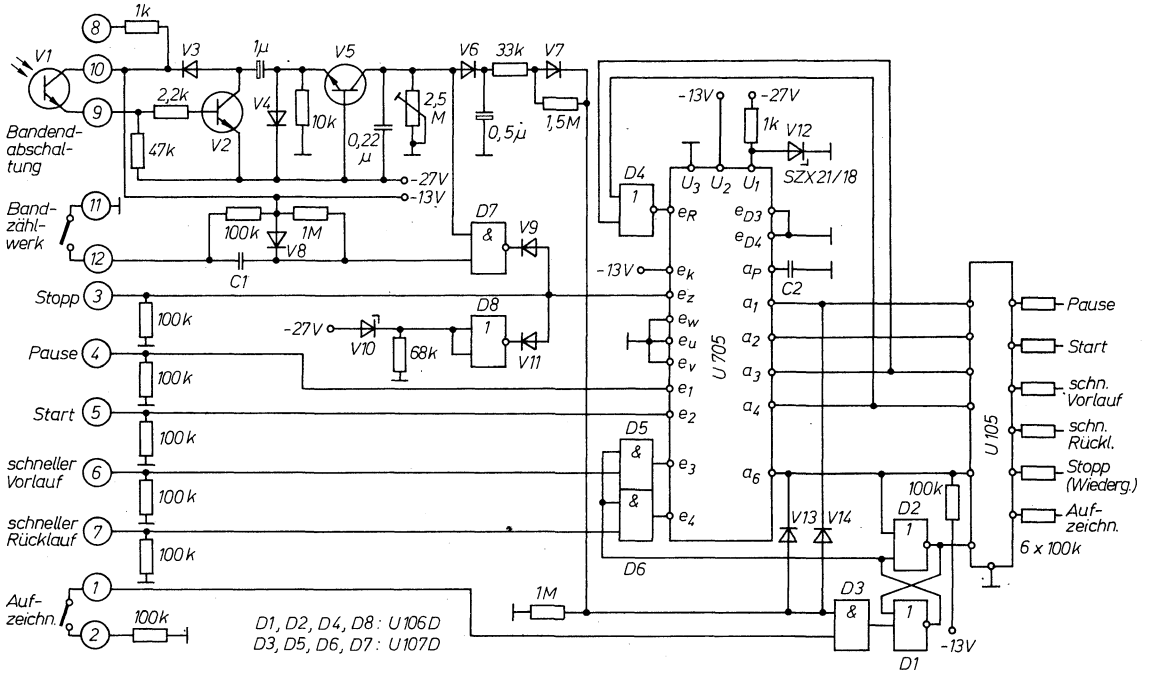

Bandend-
abschal-
tung
Band-
zähl-
werk
Stopp
Pause
Start
schneller
Vorlauf
schneller
Rücklauf
Auf-
zeichn.
1k
2,2k
47k
V1
V2
V3
V4
V5
V6
V7
1µ
10k
0,22
µ
2,5
M
33k
0,5µ
1,5M
-27V
-13V
100k
1M
V8
C1
D7
V9
D8
V10
68k
V11
D4
D5
D6
U 705
U 105
U3 U2 U1
eR
ek
ez
ew
eu
ev
e1
e2
e3
e4
eD3
eD4
aP
a1
a2
a3
a4
a6
C2
V12
SZX 21/18
V13
V14
D2
D3
D1
Pause
Start
schn.
Vorlauf
schn.
Rückl.
Stopp
(Wiederg.)
Auf-
zeichn.
6 x 100k
D1, D2, D4, D8 : U 106 D
D3, D5, D6, D7 : U 107 D

Bild 1.16 Betriebsschalter mit integrierter Schaltung *U 705* in unabhängiger Betriebsart
$e_U = H, e_v = H, e_K = L$ [10]
Die Eingabe erfolgt mittels elektrischer Kontakte (Kurzhubtasten). Die Ausführung der mechanischen Funktionen bewirken Zugmagneten. Bei Netzausfall entsteht durch die Diode V10 L-Signal an e_Z und entriegelt damit die Schaltung (Nullstellung), wodurch ein Andrücken der Andruckrolle während des Standes vermieden wird.

keit der Verknüpfung mit der Bandendabschaltung, Aufnahmesperre, Betriebsbereitschaft (Kassettenfach mit eingelegter Kassette geschlossen), Richtungsumkehr am Kassettenende usw. (Bild 1.16). Die automatische Umschaltung am Kassettenende (Autoreverse, z. B. C 939 von *Dual*) erfordert einen höheren Aufwand an Mechanik. Es sind zwei Andruckrollen, zwei Capstanwellen, bei Aufnahme auch zwei Löschköpfe, die gegenüber der Standardausführung kleiner ausgeführt sein müssen, und ein 4-Spur-

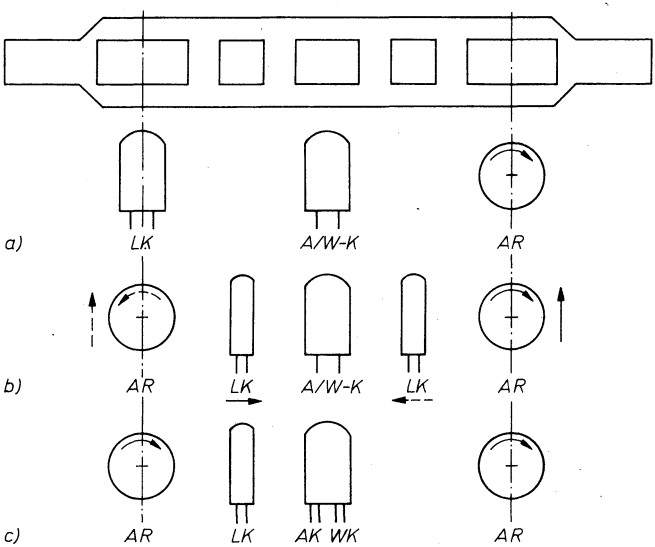


Bild 1.17 Anordnung der mechanischen Elemente des Band-Kopf-Systems in der Kompakt-Kassettentechnik;
a – Standardanordnung,
b – Anordnung bei Autoreverse für Aufzeichnung in beiden Laufrichtungen,
c – Anordnung für Hinter-Band-Kontrolle und Dualcapstanbetrieb

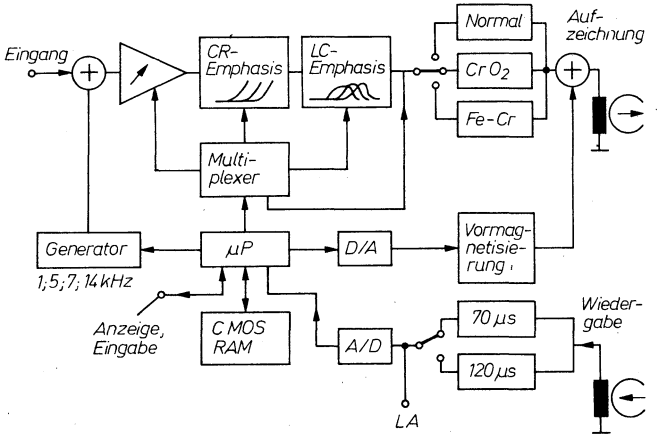


Bild 1.18 Prinzip der automatischen Einstellung optimaler Aufzeichnungsparameter [11]; dieses mikroprozessorgesteuerte System führt automatisch eine Analyse der zur Anwendung kommenden Bandsorten durch. Die während des Meßvorgangs für den Nennfluß, die Aufzeichnungsentzerrung und die Vormagnetisierung als optimal gefundenen Werte stehen im RAM für das Bespielen des analysierten Bandtyps zur Verfügung.

Kombikopf notwendig. Nach Herstellerangaben sollen mit diesem 4-Spur-Kopf trotz gleicher Ausmaße wie beim Kopf der Standardausführung Frequenzgänge von 20 bis 17000 Hz mit Eisen/Chrom-Bändern (Zweischichtbänder) erreichbar sein. Um die Vorteile einer sofortigen Qualitätskontrolle, wie bei der Spulentechnik mit 3-Kopf-Anordnungen, auch in der Kassettentechnik zu nutzen, wurden als technische Höchstleistung Magnetköpfe mit einem Aufnahme- und Wiedergabesystem (Verbundkopf) zweispurig in einem Kopf entwickelt. Nach Herstellerangaben sind Frequenzgänge von 25 bis 18000 Hz erreichbar, was wohl durch die bei getrennten A/W-Systemen mögliche optimale Anpassung der Spaltweite erreicht wird. Um den Einfluß der Bandwickel auf den Band-Kopf-Kontakt zu eliminieren und zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Bandzugs wird ähnlich wie beim 4-Motoren-Laufwerk ein Dual-Capstan-Wellensystem eingesetzt (Bild 1.17). Es sind ebenfalls wie beim Autoreverse zwei Andruckrollen und zwei Capstan-Wellen, die aber zur gleichen Zeit und in eine Richtung arbeiten, vorhanden (z. B. D 900 *Hitachi*).

Mit 3-Kopf-Systemen ist eine sehr wesentliche Automatisierung des Aufzeichnungsvorgangs möglich. Bild 1.18, das [11] entnommen ist, zeigt das Prinzip eines japanischen Kassettengeräts mit Mikroprozessor zur automatischen Einstellung der Aufzeichnungsparameter. Dadurch ist es möglich, ohne manuellen Eingriff Bandsorten mit verschiedenen Kennwerten optimal zu verwenden.

Die weitere Entwicklung der Kassettentechnik geht dahin, das für Datenspeicher und Diktiergeräte entwickelte Mikrokassettensystem auch für die HiFi-Technik zu nutzen. Spielzeit 2×30 min bei $v = 2{,}4$ mm/s. Frequenzgang: 40 bis 20000 Hz, Rauschminderung: *Dolby C*. Des weiteren sind Doppelkompaktkassettendecks bzw. -recorder entwickelt worden. Es können dann z. B. je ein Band-Kopf-System für Wiedergabe ($w_s = 0{,}8\ \mu$m) und das andere für Aufzeichnungen optimiert werden (Frequenzgang 20 bis 16000 Hz Fe, 30 bis 18000 Hz CrO_2). Weiter kann solch eine Kombination für Umschnitte – Schnellkopieren (doppelte Geschwindigkeit) – genutzt werden.

2. Laufwerke der Heimtontechnik

2.1. Allgemeine Anforderungen und Aufbau

Die Güte der konstruktiven Ausführung einer Magnetbandanlage bestimmt in gleichem Maße wie die Elektronik die Aufnahme- und Wiedergabequalität. Zur Tonmechanik zählt man die mechanischen Eigenschaften der Magnetbänder und deren Aufnahmeeinrichtungen (Wickelkern, Flanschspule, Kassette). Ihre Hauptaufgabe ist es, das Magnetband (MB) bei der Aufzeichnung und Wiedergabe mit konstanter Geschwindigkeit an den Magnetköpfen (MK) vorbeizubewegen. Dabei sollten die Geschwindigkeitsabweichungen (Tonhöhenabweichungen) und die Gleichlaufschwankungen (Tonhöhenschwankungen) gering sein. Für eine ordnungsgemäße Funktion des Speichervorgangs ist ein guter und konstanter Andruck des Bandes an die Köpfe notwendig. Schneller Vor- und Rücklauf (Rangieren) als zusätzliche Funktionen gewährleisten eine kurze Zugriffszeit. Dazu ist es sinnvoll, ein Bandlängenzählwerk (BZ) sowie eine Vorrichtung zum zeitweisen Andruck des Bandes an die Köpfe zum Mithöhren während des Rangierens vorzusehen. Bei Heimtongeräten sollte eine «Bereitschaftstaste», die das Eindrehen der Wickel von Hand und bei Aufzeichnung das Einpegeln der zu speichernden Darbietung vor dem Bandanlauf gestattet, vorhanden sein. Heimtongeräte können auch zahlreiche Automatikfunktionen aufweisen. Möglich ist das Abschalten des Bandtransports am Bandende und bei Bandriß. In Kassettengeräten werden Automatikfunktionen realisiert, die bei Spulengeräten nicht üblich sind. Die Industrie entwickelte Geräte mit programmierbarem Suchlauf zum Auffinden bestimmter Bandstellen und die automatische Richtungsumkehr am Bandende (Autoreverse). Durch Fühlhebel können in der Kassettentechnik eine Löschsperre und das selbständige Umschalten von Eisen- auf Chrombänder ausgeführt werden.

Die mechanischen Baugruppen der Spulen- und Kassettentechnik werden zu einer konstruktiven Einheit in Form eines Druckguß- und Blechchassis zusammengefaßt. Prinzipiell kommen in beiden Techniken die gleichen mechanischen Bauteile zur Anwendung,

die sich nur durch ihre konstruktive Ausführung und ihre Anordnung unterscheiden. Die Tonmechanik besteht im allgemeinen aus folgenden Baugruppen: *Betriebsartenschalter, Antriebssystem, Kopfsystem* und *Bandaufnehmer.*

Der Betriebsartenschalter dient zur Auslösung der Funktionen *Vor- und Rückspulen, Konstanter Vor- und Rücklauf, Bereitschaft, Ausgangslage* und in der Kassettentechnik dem *Kassettenauswurf.* Hinzu kommen die elektrischen Funktionen *Aufzeichnung/Wiedergabe, Spurwahl, Mono* und *Stereo, Playback* und *Multiplayback.* Die Befehlseingabe und -ausführung kann mechanisch, elektromechanisch (Magnete, Relaiskontakte) oder elektronisch (Sensoren) realisiert werden. Verbotene Betriebszustände, wie z. B. *Vorlauf* und das gleichzeitige Auslösen des schnellen *Rücklaufs*, müssen durch Verriegelung entsprechend der gewählten Eingabeart verhindert werden.

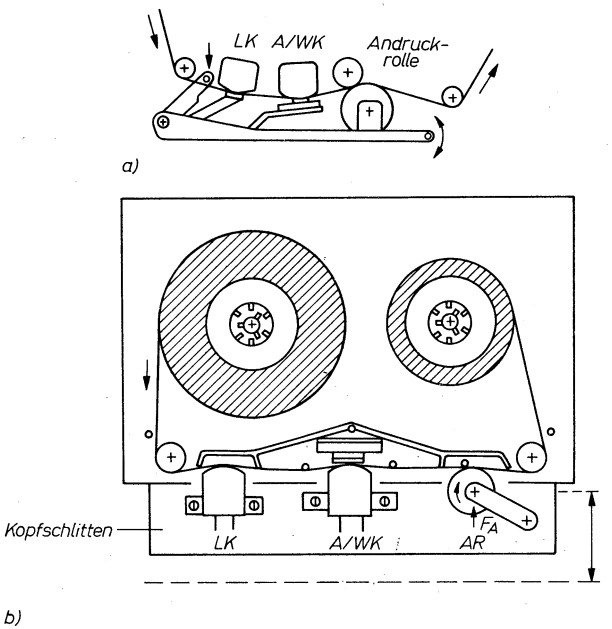


Bild 2.1 Bandführung in Heimtongeräten – Stellung konstanter Vorlauf; a – Spulentechnik, b – Kompaktkassettentechnik

Das Bandantriebssystem, bestehend aus Spulen- oder Kassettenaufnehmer (Rutschkupplung, Wickelmotoren), Motoren sowie Treibriemen, Reibrädern und Bremsen, realisiert die Lauffunktionen.
Dem Kopfsystem werden die Umlenk-, Führungs- und Andruckelemente, die Tonwelle mit Schwungmasse und der Antriebsmotor sowie das Magnetband zugeordnet. Auf Spulen ist das Magnetband 6 und in Kompaktkassetten das Magnetband 4 untergebracht. Die Bilder 2.1 a und b zeigen die grundsätzliche Bandführung von Heimspulen- und Kassettengeräten in der Betriebsfunktion *Konstanter Vorlauf*. Die Mechaniken weisen für die Funktionen *Aufzeichnung* und *Wiedergabe* keinen prinzipiellen Unterschied auf. Die Möglichkeit, bei 3-Kopf-Systemen der Spulentechnik das Magnetband während der Wiedergabe vom Lösch- und Aufzeichnungskopf abzuheben, um diese vor mechanischem Verschleiß zu bewahren, ändert nichts am grundsätzlichen Wesen der Laufwerkfunktionen. Analog zur Studiotechnik wird das Magnetband bei Kassetten mit der Schicht außen liegend aufgespult. Das Konfektionieren des Bandes in einer Kassette macht es erforderlich, daß für die Funktion *Konstanter Bandvorlauf* die Magnetköpfe in die Kassette eingeführt werden müssen. Diese Art eines bewegten Kopfträgers erhöht die Anforderungen an die gleichbleibende, definierte Höhenlage der Kopfsysteme zur Spurlage des Magnetbands.

2.2. Antriebssysteme

2.2.1. Allgemeines Wirkungsprinzip

Unabhängig von der Art der konstruktiven Lösung des Antriebssystems (AS) entsprechend Bandbreite, Bandkonfektionierung und Verwendungszweck sind für die Realisierung der einzelnen Bewegungsabläufe bestimmte Antriebs- und Bremsmomente auf die Antriebselemente zu übertragen.
Für den konstanten Bandvorlauf müssen die Tonwelle mit der der Arbeitsgeschwindigkeit entsprechenden Drehzahl und die Aufwickelseite zum Speichern des ablaufenden Bandes angetrieben werden. Neben Wechselstrommotoren setzt man wegen besserer Regelmöglichkeiten vor allem in Batteriegeräten Gleichstrommo-

toren ein. Der interessierte Leser findet spezielle Informationen über Motoren der Magnetspeichertechnik in [12]. Praktische Regelschaltungen können [13] und [14] entnommen werden.
Zur Sicherung eines konstanten Bandvorlaufs müssen ein stabiler und etwa gleichgroßer Aufwickel- und Abwickelbandzug gewährleistet sein. Den Aufwickelbandzug übernimmt das Drehmoment der Aufwickelseite (Aufwickelantrieb), das in Richtung des Bandvorlaufs wirkt. Für den Abwickelbandzug muß ein entgegengesetztes Drehmoment erzeugt werden oder ein Abbremsen der Abwikkelseite erfolgen. Realisiert wird diese Bedingung durch die weitestgehend gleiche Ausführung beider Seiten und den Einsatz eines Steuer- bzw. Regelsystems. Bei Mehrmotorenlaufwerken ist ein elektrisch beeinflußtes Drehmoment der Auf- und Abwickelmotoren üblich. Einmotorenlaufwerke der Spulentechnik besitzen zum Ausgleich der unterschiedlichen Drehmomente bei sich veränderndem Wickeldurchmesser beispielsweise gewichtsabhängige Rutschkupplungen mit zusätzlicher Fühlhebelbremse für den Ausgleich von Bandzugsspitzen und die Feinregelung des Bandzugs. Mit solchen Anordnungen lassen sich die Forderungen nach konstantem Bandandruck an die Magnetköpfe relativ gut erfüllen.
Für die Funktion *Rangieren* ist ein Drehmoment der Wickelmotoren entsprechend der Wickelrichtung zu erzeugen bzw. bei Einmotorenlaufwerken auf die Wickelantriebe zu übertragen. Das Stoppen des Bandes bei allen Lauffunktionen erfolgt durch Abbremsen der Bandwickelantriebe mittels mechanisch oder elektrisch wirkender Bremsen.

2.2.2. Antriebssysteme für Magnetband 6

Zur Realisierung der Lauffunktionen eines Antriebssystems für das Magnetband 6 (Spulentechnik) sind viele Konzeptionen von Einmotorenlaufwerken bekannt geworden. Sie weisen gegenüber den Mehrmotorenlaufwerken bestimmte Nachteile auf. So sind die Forderungen nach konstanten Bandzügen, hoher Rangiergeschwindigkeit und sauberen Bandwickeln in ihrer Gesamtheit schwer zu erfüllen. Ihr Hauptvorteil liegt im geringeren ökonomischen Aufwand (geringerer Materialaufwand, wenige präzise Bauteile erforderlich) für die Massenfertigung.
Einmotorenlaufwerke lassen sich in direkt und indirekt arbeitende

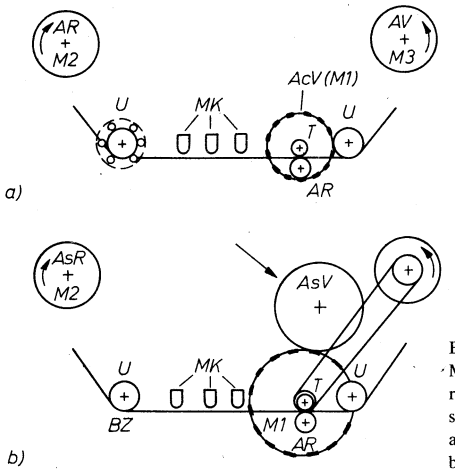
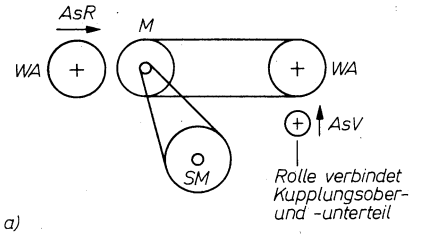
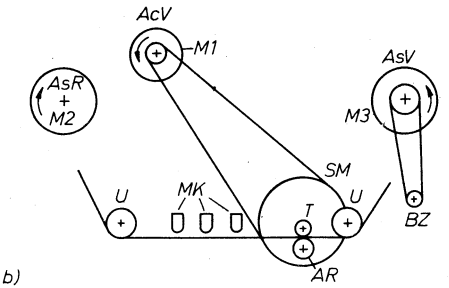


Bild 2.2
Möglichkeiten der Realisierung direkter Antriebssysteme;
a – 3-Motoren-Laufwerk,
b – 2-Motoren-Laufwerk

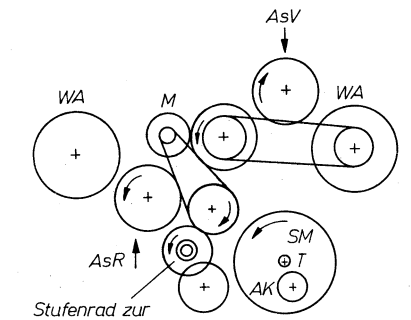
Antriebssysteme unterscheiden. Der direkte Antrieb (Bild 2.2) ist insbesondere zur Realisierung kleiner Arbeitsgeschwindigkeiten ungeeignet, da zur Sicherstellung eines konstanten Bandvorlaufs Synchronmotoren mit hoher Polzahl benötigt würden. Für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 95,3 mm/s und einem Tonwellendurchmesser von 5 mm ist bei 50 Hz Netzfrequenz ein Motor mit 16 Polen erforderlich. Solche Motoren sind teuer und besitzen relativ große Abmessungen. Setzt man für den Wickelantrieb einen zweiten Motor ein, kann diese Antriebsart für den Amateur für bestimmte Anwendungsfälle eine günstige Lösung darstellen. Durch den Einsatz des Rangiermotors ist der Drehsinn der Tonwelle unabhängig vom Wickelantrieb, so daß ein Umschalten des konstanten Vorlaufs auf konstanten Rücklauf möglich wird.
Die Nachteile des direkten Antriebs vermeidet der indirekte Antrieb (Bild 2.3). Durch die Möglichkeit einer Drehzahlherabsetzung können billige, kleine Asynchronmotoren mit hoher Drehzahl (1400 bis 3000 Umdrehungen/min) eingesetzt werden. Diese Anordnung zeichnet sich durch geringe Leistungsverluste (bei kleiner Lagerreibung), niedrige Bauhöhe und gutes Gleichlaufverhalten (Filterwirkung) aus. Der Antriebsmotor benötigt gegenüber dem direkten Antrieb mit 5 bis 10 W nur eine Leistung von 0,5 bis 1 W.



a)



b)



c)

Bild 2.3
Indirektes Antriebssystem; a – einfaches 1-Motoren-Laufwerk, b – mit drei Motoren, c – mit einem Motor und mehreren Geschwindigkeiten

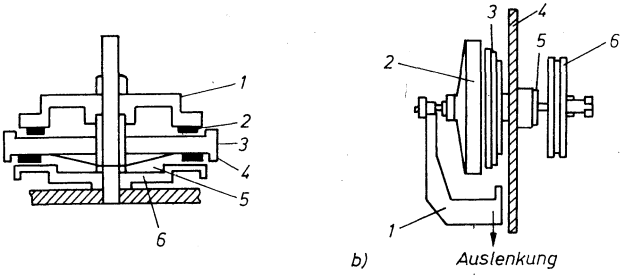


Bild 2.4 Wickelantriebskupplungen; a – dreiteilige Rutschkupplung; 1 – Kupplungsoberteil, 2 und 4 – Reibbelag, 3 – Zwischenteil, 5 – Blattfeder, 6 – Kupplungsunterteil, b – Kupplung mit Fühlhebel – geeignet für senkrechte Betriebslage; 1 – Fühlhebel, 2 – Kupplungsunterteil, 3 – Kupplungsoberteil, 4 – Chassis, 5 – Achse (fest mit Kupplungsoberteil verbunden), 6 – Spulenteller

Der Antriebsmotor (Bild 2.3 b) treibt über einen Gummiflachriemen die Schwungmasse SM, die starr mit der Tonwelle T gekoppelt ist, an. Die Anordnung Schwungmasse – elastischer Riemen stellt ein mechanisches Filter mit niedriger Grenzfrequenz dar, wodurch gute Gleichlaufeigenschaften erreichbar sind. Ein weiterer Riemen von der Motorwelle treibt das Kupplungsunterteil der Aufwickelseite an. Kupplungsunter- und Kupplungsoberteil (Bild 2.4) sind z. B. über einen eingelegten Filz verbunden, so daß das Oberteil über diese Rutschkupplung mitgenommen wird und der Aufwickelbandzug bei konstantem Vorlauf gewährleistet ist. Das Kupplungsunterteil der Abwickelseite ist festgesetzt, damit ist wieder über eine Rutschkupplung der Abwickelbandzug gegeben.
Für die Zeitdauer des Rangierens werden beim schnellen Vorlauf das Kupplungsoberteil der Aufwickelseite mit dem Unterteil über ein Reibrad und beim schnellen Rücklauf das Kupplungsoberteil der Abwickelseite mit der Motorwelle direkt in Verbindung gebracht. Diese Anordnung stellt ein Minimum an kraftübertragenden Elementen dar.
Zur Realisierung mehrerer Arbeitsgeschwindigkeiten ist ein mechanisch gesteuertes Umlegen des Antriebsriemens oder das Umschalten eines Reibrades auf einer Stufenscheibe gebräuchlich. Für tragbare Geräte läßt sich eine zweite gleichdimensionierte Schwungmasse so in das Antriebssystem einfügen, daß sich die äußeren Bewegungsmomente kompensieren. Dies wird durch eine Kupplung der beiden gegensinnig laufenden Schwungmassen erreicht.

2.2.3. Antriebssysteme für Magnetband 4

Antriebssysteme für die Standardanordnung der Magnetköpfe in der Kassettentechnik unterscheiden sich im wesentlichen nicht von denen der Spulentechnik mit einem Motor. Genau wie in der Spulentechnik ist es auch hier sinnvoll, in hochwertigen Geräten je einen Motor für die Rangierfunktionen und einen für den Antrieb der Tonwellen einzusetzen. Eine solche Anordnung (Bild 2.5) gewährleistet ein Optimum der Betriebsfunktionen und gestattet einen hohen Automatisierungsgrad der mechanischen Funktionsabläufe.
Bild 1.17 zeigt den Unterschied der Anordnung des mechanischen Band-Kopf-Systems für Autoreversebetrieb und für die Führung des Bandes an den Köpfen zur Standardausführung. Für den Autoreversebetrieb (automatisches Umschalten der Laufrichtung am Bandende) sind zwei Tonwellen und Andruckrollen erforderlich. Der Drehsinn der Wellen ist entsprechend der Laufrichtung des Bandes gegeben. Je nach Bandtransportrichtung wird die linke oder rechte Andruckrolle wirksam. In Geräten mit einem 3-Kopf-System erreicht man eine verbesserte Bandführung in der Kopfzone durch zwei in eine Richtung arbeitende Tonwellen mit je einer Andruckrolle, die zur gleichen Zeit eingreifen. Damit wird eine weitgehende Unabhängigkeit des Bandtransports in der Kopfzone vor Einflüssen der Bandwickel bewirkt. Diese Art Bandführung gewährleistet einen konstanten und, bei entsprechender Auslegung der Startbedingung, definierten Bandandruck.

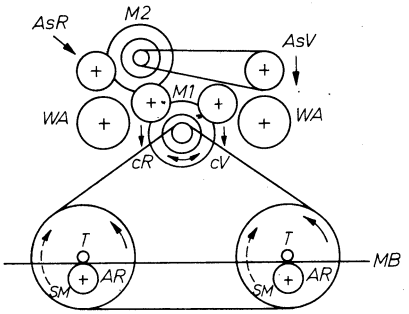


Bild 2.5
2-Motoren-Laufwerk für konstanten Vor- und Rücklauf

2.3. Mechanisches Band-Kopf-System

2.3.1. Bandantrieb bei Arbeitsgeschwindigkeit

Der konstante Bandvorlauf erfolgt durch das Andrücken des Bandes mit einer Gummiandruckrolle (AR) an die mit konstanter Drehzahl bewegte Tonwelle. Der Durchmesser d der Tonwelle und die Drehzahl n bestimmen den Betrag der Arbeitsgeschwindigkeit

$$v = \pi n d. \tag{1}$$

In der Spulentechnik soll ihr Durchmesser etwa 10 mm betragen. In der Kassettentechnik sind 2 bis 4 mm üblich. Für den Betrag der Arbeitsgeschwindigkeit ist daher nur noch die Drehzahl bestimmend. Realisieren läßt sich die Nenndrehzahl durch Untersetzen der Motordrehzahl beim indirekten Antriebssystem. Da bei direkten Antriebssystemen die Polpaarzahl des Tonmotors für die Nenndrehzahl entscheidend ist, kann der Durchmesser nicht mehr frei gewählt werden. Eine präzise (maßhaltige) Fertigung der Tonwelle und der Übersetzungselemente ist ausschlaggebend für die Abweichungen von der Nenngeschwindigkeit. Die Abweichung berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\frac{v - v_o}{v_o} \cdot 100 = \Delta v, \text{ (in \%)} \tag{2}$$

v_o' – Bezugsgeschwindigkeit (genormte Transportgeschwindigkeit)
Stimmt die Wiedergabegeschwindigkeit mit der Aufzeichnungsgeschwindigkeit nicht überein, entsteht ein Frequenzfehler ($f_A \neq f_W$). Er ergibt sich, da die aufgezeichnete Wellenlänge λ bei Aufzeichnung und Wiedergabe konstant ist, v_A aber ungleich v_W ist. Der Frequenzfehler ist der prozentualen Geschwindigkeitsabweichung proportional. Bei einer Abweichung der Wiedergabegeschwindigkeit um +1 Prozent von der Aufzeichnungsgeschwindigkeit beträgt der Frequenzfehler ebenfalls +1 Prozent. Ein aufgezeichneter 1-kHz-Ton ist also mit 1010 Hz zu hören. Als maximale Abweichung sind ±1 bis ±3 % zulässig.
Zur Vermeidung des Bandschlupfes muß die Andruckkraft der Andruckrolle genügend groß sein. Um die Filterfunktion (Vermeidung von Tonhöhenschwankungen) zu gewährleisten, sollte die

Schwungmasse möglichst schwer und sorgfältig ausgewuchtet sein. Ein unrunder Lauf kann erhebliche Kraftwirkungen auf die Lager ausüben und damit die Funktionstüchtigkeit des Laufwerks in Frage stellen.
Weiter kann der Antrieb der Tonwelle nach dem Prinzip der konstanten Belastung erfolgen. Dazu befindet sich die von einem Synchronmotor angetriebene Schwungmasse aus Kupfer in einem Luftspalt zweier Permanentmagneten. Die im Kupfer entstehenden, von der Drehzahl abhängigen Wirbelströme erzeugen ein Bremsmoment. Ist die Bremskraft wesentlich größer als die wirksame Kraft eines beispielsweise unregelmäßigen Bandzugs, so ist die Belastung der Tonwelle als konstant anzusehen.

2.3.2. Bandführungselemente und Kopfträger

Die Anordnung der Bandführungselemente ist aus dem Bild 2.1 ersichtlich. Im Gegensatz zur Studiotechnik mit drehbaren Umlenkrollen höchster Genauigkeit ist es in der Heimspulentechnik üblich, billige feststehende Führungsstifte (Bild 2.6) zu verwenden. Umlenkrollen lassen sich gut zur Gewinnung von Impulsen für digital anzeigende Bandlängenmesser oder zur Synchronisierung für das 2-Band-Vertonungsverfahren der Amateurfilmtechnik verwenden. Allgemein sollten so wenig wie möglich Führungselemente verwendet werden. Sie müssen genau senkrecht zum Chassis stehen, da andernfalls eine nichtdefinierte Zwangsführung des Bandes erfgolgt. Bandhöhenschwankungen sind am Pegelabfall der Wiedergabespannung und am Hörbarwerden benachbarter Spuren erkennbar. Eine definierte Zwangsführung des Bandes läßt sich mit drei Führungsstiften in der Bandzone erreichen. Dazu ist der mittlere Stift etwas höher oder tiefer einzustellen. Eine schief laufende Andruckrolle bewirkt ebenfalls eine Ablenkung des Bandes aus der Horizontalen. Für den Parallellauf der Achsen der Tonwelle und der Andruckrolle sind selbsttaumelnde Andruckrollen gebräuchlich. In der Kassettentechnik übernimmt die Bandführung die Kassette selbst (Umlenkrollen siehe Bild 2.6). Die Bandführung in der Kopfzone erfolgt an den Führungsstiften, die an den Köpfen angebracht sind (Bild 2.7).
In der Studiotechnik werden komplett auswechselbare Baugrup-

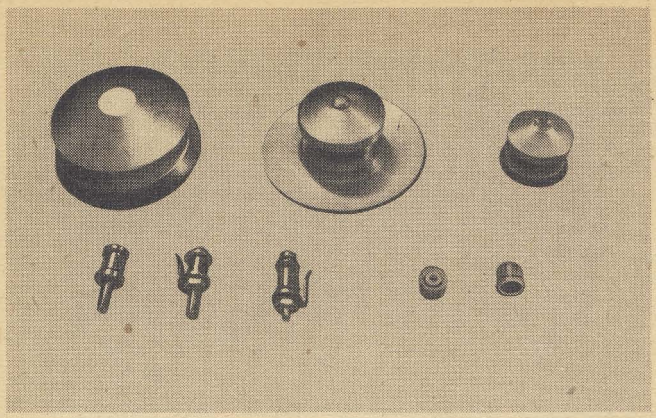


Bild 2.6 Verschiedene Ausführungsformen von Umlenkrollen und Führungsstiften der Spulen- und Kassettentechnik
Von oben links nach unten rechts: Rolle mit großem Durchmesser (Höheneinstellung von unten) für dickes, weniger schmiegsames Magnetband; Rolle mit definiertem Durchmesser zum Erreichen einer bestimmten Drehzahl und planem, großflächigem Unterteil zum Einfügen von Schlitzen bzw. Bohrungen zur Impulsableitung für eine elektronische Bandlängenanzeige oder zu Synchronisationszwecken; Rolle mit kleinem Durchmesser, geeignet für dünne, schmiegsame Bänder (Höheneinstellung von oben); Führungsstift aus einem Stück gefertigt; Stift, aus mehreren Einzelteilen und einer Auffangvorrichtung für das eventuell herunterfallende Magnetband; Plasteumlenkrollen der Kompakt-Kassette

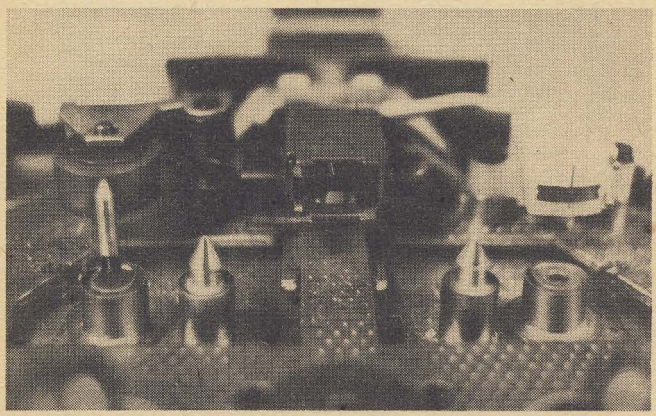


Bild 2.7 Band-Kopf-System der Kompakt-Kassettentechnik (mono)

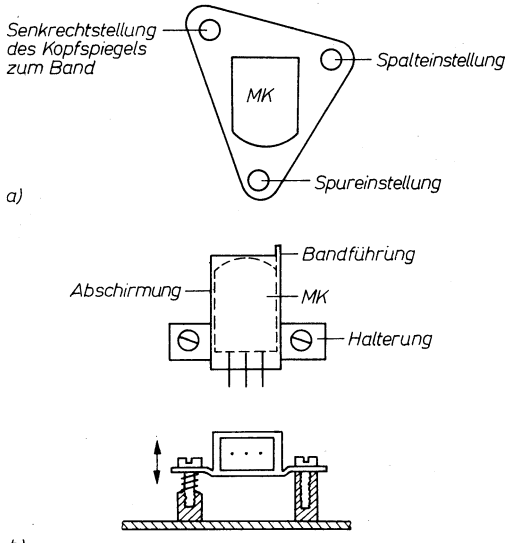


Bild 2.8 Kopfhalterung zum Taumeln; a – Spulentechnik, b – Kompakt-Kassettentechnik

pen als Kopfträger verwendet. Dies gestattet das schnelle Auswechseln z. B. eines Vollspursystems gegen ein Halbspursystem. Eine vereinfachte Variante dieses Prinzips ist die hängende Anordnung aller Köpfe an einer Trägerschiene. Bild 2.8 zeigt Ausführungsformen von Kopftaumeleinrichtungen. Kassettenköpfe werden mit zwei Schrauben befestigt, wovon eine zum Eintaumeln dient.

2.3.3. Bremsfunktionen und Bandandruck

Wichtige Bremsarten für die Laufwerkfunktionen sind die Stopp- und Standbremse sowie das Abbremsen der Abwickelseite zur Erzeugung eines Bandzugs (Band-Kopf-Kontakt) bei der Arbeitsgeschwindigkeit.
Das Stoppen aus der Funktion *Rangieren* kann bei Mehrmotorenlaufwerken mit den Wechselspannungswickelmotoren erfolgen,

wozu die Antriebsspannung ab- und eine Gleichspannung zur Erzeugung eines Bremsmoments zugeschaltet wird. Einmotorenlaufwerke besitzen mechanische Bremsen, die auf die Wickelantriebe (z. B. Kupplungsoberteil) einwirken. Diese Bremsvorrichtungen sind so eingestellt, daß sich ein drehrichtungsabhängiges Bremsmoment ergibt (Vermeidung von Bandschlaufen). Mangelhafte Justierung und Verschleiß der Bremsbeläge sowie eine geringe Rundlaufgenauigkeit der Wickelantriebe beeinträchtigen die Zuverlässigkeit eines Gerätes erheblich. Die Stoppbremse gewährleistet, daß das Band in kürzester Zeit zum Stillstand kommt. Zur Vermeidung von Bandschlaufen muß die Abwickelseite etwas stärker als die Aufwickelseite abgebremst werden. Dies ist ebenfalls während des Rangiervorgangs notwendig, um einen festen Bandwickel zu erhalten. Bandzugsspitzen, die zu bleibender Verformung dünner Spulbänder führen, können mit einer Feinfühlautomatik vermieden werden. Dazu umschlingt das Magnetband einen Fühlhebel, so daß sich bei erhöhtem Bremsmoment der Abwickelkupplung die Bremsbacke etwas abhebt und dadurch ein Ausgleich eintritt.

Die Standbremse tritt nach dem sicheren Stillstand des Bandes in Funktion. Dazu muß die Stoppbremse leicht abheben. Sie soll so eingestellt sein, daß sich das Band nicht selbständig bewegen kann, das Drehen der Wickel von Hand aber möglich ist (Bandschnitt – Magnetband 6). Bei der Betriebsfunktion *Bereitschaft* wirkt die Standbremse ebenfalls. Zusätzlich hebt die Andruckrolle von der Tonwelle ab, so daß die Funktion *Konstanter Bandvorlauf* noch nicht eintritt. Durch diese Betriebsfunktionen ist eine kurze Startzeit gewährleistet.

Zur Erzeugung eines ausreichend großen Flächenandrucks an die Köpfe muß die Abwickelseite während der Funktion *Konstanter Bandvorlauf* abgebremst werden. Dies ist mit einer Rutschkupplung (Bild 2.4) realisierbar. Da das Bremsmoment vom Gewicht des aufliegenden Bandwickels abhängt, ist ein konstanter Band-Kopf-Kontakt wegen des variablen Wickeldurchmessers nicht ohne weiteres gegeben. Das Band wird deshalb an den Kopf mit einem Filzstückchen angedrückt. Soll der zusätzliche Andruck wegen des erhöhten Abriebs entfallen, muß der Bandzug mit einer Steuerung bzw. Regelung konstant gehalten werden, was eine Feinfühlautomatik und eine sehr hohe Rundlaufgenauigkeit der Kupplung erfordert. In Mehrmotorenlaufwerken läßt sich diese

Betriebsbremse durch Änderung der Motorspannung, und damit des Drehmoments, erreichen. Den Betrag der Stellgröße ermittelt man über die Stellung des Fühlhebels in Abhängigkeit vom Wickeldurchmesser. Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz eines vierten Motors und einer zweiten Andruckrolle. Dazu erfaßt man den Bandzug zwischen den beiden Antriebsachsen. Bei Abweichung vom Sollwert wird eine Regelgröße gebildet, die ein Nachstellen der Drehzahl des vierten Motors bewirkt. Eine vereinfachte Variante dieses Prinzips ist in der Kassettentechnik (Dual-Capstan) verwirklicht.
Die Speicherung hoher Frequenzen setzt einen guten Band-Kopf-Kontakt voraus. Dazu ist ein ausreichender Flächenandruck notwendig, der sich proportional zum Bandzug und umgekehrt proportional zum Kopfradius und der Bandbreite verhält, wobei der Einfluß der Kopfumschlingung vernachlässigt wird. Der Flächenandruck läßt sich mit

$$F_A \approx \frac{F_Z}{r \cdot h_B} \tag{3}$$

für $\alpha \leqq 30°$ bestimmen; siehe dazu Bild 4.8 und [14]. Als Richtwerte für den Flächenandruck gelten:
$F_A = 0{,}8 \ldots 1{,}0\,\mathrm{N/cm^2}$ (Studiomagnetköpfe),
$F_A = 0{,}5 \ldots 1{,}5\,\mathrm{N/cm^2}$ (IEC 94 A – 72),
$F_A = 1 \ldots 1{,}5\,\mathrm{N/cm^2}$ (TGL 24582 – Kompakt-Kassettensystem).

2.4. Kenngrößen und Anforderungen nach Standard

Transportgeschwindigkeit w_t
Geschwindigkeit des Informationsträgers gegenüber einem ruhenden Punkt des Transportwerks während der Aufzeichnung und/oder der Wiedergabe

Arbeitsgeschwindigkeit w_s
Geschwindigkeit des Informationsträgers gegenüber dem Magnetkopf in Richtung der Magnetspur während der Aufzeichnung und/oder Wiedergabe

Umwickelgeschwindigkeit w_u
Transportgeschwindigkeit beim Umwickeln des Informationsträgers

Gleichlauffehler Δw
Periodische oder statische Abweichung der Arbeits- oder Transportgeschwindigkeit vom Sollwert

Startzeit Δt_a
Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des bei ruhendem Informationsträger gegebenen Startsignals und dem Zeitpunkt, von dem an die Arbeitsgeschwindigkeit innerhalb der zugelassenen Toleranz bleibt

Startlänge Δl_a
Die während der Startzeit transportierte Länge des Informationsträgers

Stoppzeit Δt_e
Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des Haltesignals, wobei sich der Informationsträger mit der Transportgeschwindigkeit bewegen soll, und dem Zeitpunkt, da er ruht. Für die Stoppzeit beim Umspulen, Suchen usw. muß der Begriff ergänzt werden (z. B. Stoppzeit aus dem Umspulen)

Stopplänge Δl_e
Die während der Stoppzeit transportierte Länge des Informationsträgers

Zugriffszeit t_g
Maximale Zeit, die von der Mitteilung des Speicherplatzes bis zu seinem Erreichen vergeht

Laufdauer t_l
Ununterbrochene Betriebsdauer eines Magnetspeichergeräts mit einem vorgegebenen Informationsträgervorrat

Speicherzeit t_{sp}
Zeit, die bei der verwendeten Arbeitsgeschwindigkeit benötigt wird, um die Speicherlänge zu transportieren

Umwickelzeit t_u
Zeit, die für das Umwickeln eines vorgegebenen Informationsträgervorrats gebraucht wird

Wickelzug F_a
Zugkraft in einem Informationsträger in der Nähe der aufwickelnden Spule

Bremszug F_r
Zugkraft in einem Informationsträger in der Nähe der abwickelnden Spule

Bandzug F_b
Zugkraft in einem Magnetband an einer vorgegebenen Stelle

Tabelle 2.1. Mechanische Kennwerte von Heimtongeräten für MB 6

Benennung	Einheit	Forderungen an die Klasse 1	2	3
Arbeitsgeschwindigkeit[1)]	cm/s			
Nenngröße		19; 9; 4; 2		
Sollwert		19,05; 9,53; 4,76; 2,38		
zulässige Abweichung der mittl. Arbeitsgeschw. vom Sollwert für die Haupt-Arbeitsgeschwindigkeit	%	±1	±2	
für zusätzliche Arbeitsgeschwindigkeiten				
9		±1		±2
der Nenngröße 4	%	±1,5		±2
2			±2	
Gleichlauffehler, höchstens, für die Haupt-Arbeitsgeschw.	%	0,1	0,2	0,3
max. zulässige Bandzugskraft bei ruhendem Magnetband, beim Umwickeln und bei normalem Vorlauf	N		1,5	

[1)] Geräte der Klasse 1 müssen mindestens zwei Arbeitsgeschwindigkeiten haben

Tabelle 2.2. Mechanische Kennwerte von Heimtongeräten für MB 4

Benennung	Einheit	Forderungen an die Klasse		
		1	2	3
Arbeitsgeschwindigkeit	cm/s			
Nenngröße			4	
Sollwert			4,76	
zulässige Abweichung der mittleren Arbeitsgeschwindigkeit vom Sollwert	%	±1,5	±2	±3
Gleichlauffehler, höchstens	%	0,2	0,25	0,35
max. zulässige Bandzugskraft bei ruhendem Magnetband, bei normalem Vorlauf und beim Umwickeln	N		1,0	
max. zulässige Bandzugskraft am Bandwickelende	N		5	

3. Das Magnetband

3.1. Aufbau, Eigenschaften und Anforderungen

Die modernen Magnetisierungsträger der Magnettontechnik sind Schichtbänder. Auf einen unmagnetischen Kunststoffträger sind eine oder mehrere magnetisch aktive Schichten aufgetragen.
Für Sonderanwendungen, z. B. bei Metallschichten (Mikrokassette), werden Schutzschichten primär als Korrosionsschutz verwendet. Antistatische, rauhe (mattierte) Rückschichten trägt man z. B. auf Studiobänder (freitragende Wickel) auf. Gleitschichten setzt man bei Bändern für Endloskassetten ein.
Als Trägermaterial wird heute fast ausschließlich Polyester (PE) verwendet. Übliche Trägerdicken sind 6 μm beim 5fach-Spielband (C 120 – Kompaktkassette), bis 40 μm beim Standardband (Studiotechnik). Polyester gewährleistet eine hohe Zugfestigkeit und Einreißfestigkeit an den Bandkanten. Weitere wichtige Eigenschaften sind Dehnungs- und Querfestigkeit sowie die Temperaturbeständigkeit. Auch in extremen Betriebszuständen (Schnellstopp, schneller Vor- und Rücklauf) dürfen keine plastischen Verformungen auftreten (Bandwelligkeit).Trotz hoher Festigkeit soll das Band möglichst schmiegsam sein und eine glatte Oberfläche (vergütet) zur Sicherstellung eines guten Band-Kopf-Kontakts aufweisen. Ein inniger Band-Kopf-Kontakt ohne übermäßig großen Flächenandruck auf die Köpfe schont diese und ist besonders für die Aufzeichnung kleiner Wellenlängen (Abstandsverluste) wichtig.
Die magnetisch aktive Schicht mit einer Dicke von etwa 3 μm bei 5-fach-Spielband (C120) bis zu ca. 18 μm bei Normalspielband besteht aus kristallinen magnetischen Teilchen, die, in einem Binder eingebettet, fest auf dem Träger haftet. Größe und Form der Teilchen, ihre homogene Verteilung und dichte Packung im Binder, dessen Abriebfestigkeit und eine gute Nachbearbeitung der Bandoberfläche bestimmen im wesentlichen die elektroakustischen Eigenschaften eines Bandes.
Durch Weiterentwicklung der magnetischen Substanz und des Trägermaterials sind bis heute beachtliche Erfolge erzielt worden. So ist z. B. die HiFi- Kassettentechnik nicht ohne diese neuen Bandty-

pen denkbar. Der erste Entwicklungsabschnitt war durch den Einsatz von magnetisch harten Substanzen aus Eisenverbindungen (Eisenferrite Fe_3O_4) mit kubischem Kristallgitter gekennzeichnet. Solche Bandtypen besaßen ein hohes Grundrauschen und eine rauhe Oberfläche, wobei die Ursache des Rauschens eine inhomogene Verteilung im Binder aufgrund der magnetischen Eigenschaften solcher Kristalle ist. Die rauhe Oberfläche bedingte einen großen mittleren Abstand zum Kopf, was zu einer schlechten Übertragung der kleinen Wellenlänge führte.

Ein weiterer Entwicklungsabschnitt brachte geringes Grundrauschen und verbesserte Höhenempfindlichkeit der Magnetbänder (low noise – LN). Das niedrige Grundrauschen wird durch die Anwendung von kleineren nadelförmigen Fe_2O_3-Kristallen mit einer Länge $\leq 1\,\mu m$ und einer Breite von $\leq 0{,}2\,\mu m$ erreicht, die sich durch ein äußeres Magnetfeld in Bewegungsrichtung des Bandes ausrichten lassen. Diese nadelförmigen Teilchen haben eine höhere Koerzitivkraft, die eine gute Wiedergabe kleiner Wellenlängen bewirkt.

Der Einsatz eines neuen Magnetoxids (Chromdioxid) ergab eine weitere Steigerung der Koerzitivfeldstärke und damit eine noch bessere Höhenwiedergabe.

Parallel zur Entwicklung der Chromdioxidbänder erfolgte eine ständige Verbesserung der Eisenoxidbänder mit dem Ziel einer höheren Aussteuerbarkeit (low noise, high output – LH). Es wurden den Magnetschichten Zusätze beigegeben, die diese aktivieren sollen (z. B. Kobalt, Co–Fe_2O_3).

Zweischichtbänder (Eisenoxidschicht + Chromdioxidschicht – FeCr) stellen eine nächste Stufe der Entwicklung dar, die in größerem Maßstab praktisch genutzt wird. Die Verbundschicht ist eine Kombination der Vorzüge beider Magnetoxide. Dabei wird die Tatsache berücksichtigt, daß die Aufzeichnung der kleinen Wellenlängen an der Schichtoberfläche (CrO_2) erfolgt, größere Wellenlängen dagegen in tiefere Schichtzonen (γ-Fe_2O_3) eindringen.

Ebenso gewinnen Metallpulver und metallische Schichten an Bedeutung. Damit ist eine weitere Erhöhung der Speicherdichte erreichbar (z. B. sogenannte Reineisenbänder-«Metallkassetten»).

3.2. Kenngrößen und Begriffe

Die mechanischen und elektroakustischen Eigenschaften sind die Auswahlkriterien entsprechend dem Verwendungszweck. Nachfolgend sind Kenngrößen, Kurzzeichen und Bezüge, die von praktischer Bedeutung sind, und die Kenngrößen, die auf Magnetbandtypenblättern angegeben sind, sowie Begriffe von allgemeinem Interesse aufgeführt.

3.2.1. Geometrische Kenngrößen

Die Abmaße des Magnetbands bzw. der Spuren auf dem Magnetband enthalten Bild 3.1 bzw. Bild 3.4 a.

Querkrümmung (Hohlkrümmung)
Bogenförmige Abweichung der quer zur Bandlängsrichtung liegenden senkrechten Schnittebene von der Geraden (Bild 3.2)

Säbelförmigkeit (Längskrümmung)
Abweichung der Bandlänge von der Geraden (Bild 3.3)

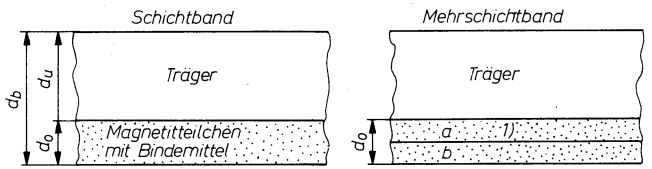


Bild 3.1 Aufbau von Schichtmagnetbändern
1) z. B. a = Fe_2O_3, b = CrO_2
d_b – Gesamtdicke, d_u – Trägerdicke, d_0 – Schichtdicke

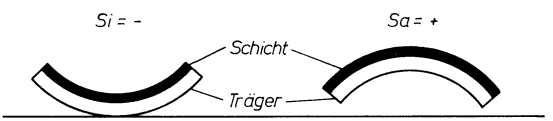


Bild 3.2 Querkrümmung
Si = – : Schicht nach innen gewölbt
Sa = + : Schicht nach außen gewölbt
Querkrümmung = 0,250 mm

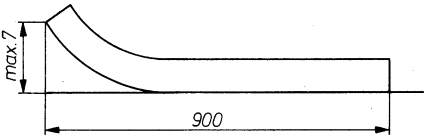


Bild 3.3
Säbelförmigkeit (Maße in mm)

Welligkeit
Verformung des Magnetbands, die sich zuerst an den Rändern bemerkbar macht. Die Welligkeit beeinflußt den Band-Kopf-Kontakt und führt zu Fehlern bei der Aufzeichnung und Wiedergabe.

Breitentoleranz
Abweichung der Breite vom Sollwert. Bei zu großer Breite kann es durch die Führungselemente am Bandrand zu Beschädigungen (Kerbwirkung, Riß) und bei zu geringer Breite zu Bandhöhenschwankungen kommen.

Spurlage
Örtliche Anordnung einer Magnetspur auf einem Informationsträger. Die Bilder 1.8 a bis c zeigen die prinzipielle Spuraufteilung und Zuordnung bei verschiedenen Band-Kopf-Systemen. Die Bilder 3.4 a bis c enthalten die Abmaße und Bezeichnung der vom Magnetkopf erzeugten Spuren.

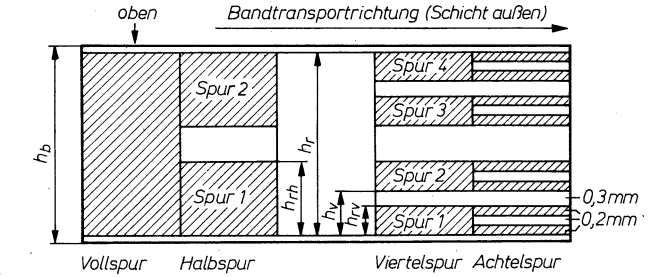
3.2.2. Mechanische Kenngrößen

Maximale Zugkraft
Die maximale Zugkraft des Magnetbands ist die bei einem Zugversuch auftretende Höchstkraft. Sie wird unmittelbar an einer Zugkraftmeßeinrichtung abgelesen und in N angegeben (z. B. $F_{max}/A_0 \geqslant 40\,\mathrm{N}$, A_0 – Anfangsquerschnitt der Probe).

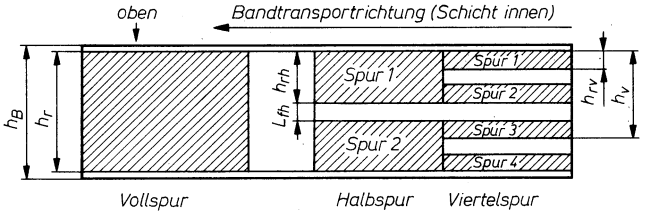
Reißdehnung
Sie ist die Längenänderung einer Magnetbandprobe gegenüber der ursprünglichen Länge im Augenblick des Reißens im Zugversuch.

$$\frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \ [\text{in \%}] \tag{4}$$

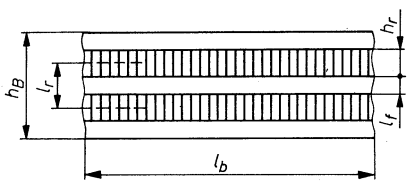
Reißdehnung: 50 bis 100 Prozent je nach Bandtyp
L_0 – ursprüngliche Meßlänge
L – Meßlänge beim Reißen



a)



b)



c)

Bild 3.4. Abmaße und Lage der Spuren auf dem Magnetband (Ansicht der Schichtseite, Maße in mm)
a – Magnetband 4 TGL 27616/2
$h_B = 3{,}81\ ^{0}_{\pm 0{,}05}$, $h_r = 3{,}71 + 0{,}05$, $h_{rh} = 1{,}45 + 0{,}15$, $h_v = 0{,}89 + 0{,}05$, $h_{rv} = 0{,}5 + 0{,}1$
b – Magnetband 6 TGL 27616/2
$h_B = 6{,}25 \pm 0{,}05$, h_r = nicht genormt, im allgemeinen volle Magnetbandbreite
$l_{fh} = 0{,}75$ (Kleinstmaß), $h_v = 4{,}5 + 0{,}1$, $h_{rv} = 1 + 0{,}1$
c – Magnetbandspuren in Längsrichtung
h_B – Bandbreite, l_r – Spurmittenabstand, l_f – Trennspurbreite, h_r – Spurhöhe

Reißkraft
Kraft, die den Träger reißen läßt ($F \geq 10\,\text{N}$)

Fließgrenze
Kraft, die eine 5prozentige Dehnung des Prüflings verursacht

Elastische Dehnung
Reversible Längenänderung unter Belastung ($\Delta l/l_e = 1{,}5\,\%$)

Plastische Dehnung
Bleibende Dehnung, wenn die Belastung beendet ist
($\Delta l/l_p = 0{,}1\,\%$)

Gesamtdehnung
Die Gesamtdehnung des Magnetbands ist die Längenänderung der Probe, die während einer einminütigen Einwirkungszeit einer Zugkraft von 10 N bei Normalbändern, 7 N bei Langspielbändern, 5 N bei Bändern geringerer Dicke und 2,5 N bei Kassettenbändern ausgesetzt ist. Die aufzubringende Vorspannung der Probe gegenüber der ursprünglichen Länge ergibt die Gesamtdehnung in Prozent.

Dynamische Festigkeit
Sie wird angegeben als Energieverlust des Prüfpendels beim Durchschlagen der Probe (= 0,2 Nm). Die dynamische Festigkeit ist für das Verhalten des Magnetbands gegenüber plötzlichen Beanspruchungen beim Start-Stopp-Betrieb wesentlich.

Abrasivität
Die Größe der Abrasivität ist die Fähigkeit des Magnetbands, die Oberfläche der Führungselemente und Magnetköpfe abzunutzen.

Abrieb
Die Größe des Abriebs ist das Abtragen der magnetischen Schicht des Bandes durch die Berührung der Führungselemente und Magnetköpfe.
Weitere Angaben sind der TGL 15552, Blatt 1 zu entnehmen.

3.2.3. Magnetische Kenngrößen

Remanenz B_r
Remanente Induktion (Restmagnetismus) in der magnetischen Schicht nach Entfernen des Aufzeichnungsfeldes. Eine hohe Re-

manenz bewirkt hohe Wiedergabespannung $U_w \sim B_r$. Die erreichbare Remanenz hängt von der einwirkenden Feldstärke

$$B_r = (0 \ldots B_{rs})\ \mathrm{Wb/m^2}\ \text{ab.} \tag{5a}$$

Koerzitivfeldstärke H_c
Feldstärke im Punkt $B = 0$ (Bild 3.5). Eine hohe Koerzitivfeldstärke bewirkt gute Wiedergabe kurzer Wellenlängen $B_r \sim H_c$,

$$H_c = (1{,}5 \ldots 5) \cdot 10^4\ \mathrm{A/m}. \tag{5b}$$

Sättigungsremanenz B_{rs}
Remanente Sättigungsinduktion, die nach Einwirken des Aufzeichnungsfeldes bis in die Sättigung zurückbleibt. Die Sättigungsremanenz hängt von den Eigenschaften der verwendeten Schichtmaterialien ab.

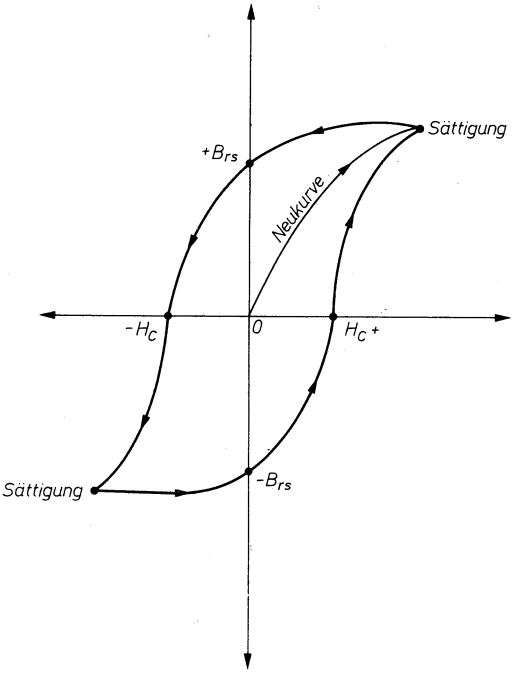


Bild 3.5
Hysteresiskurve

Remanenter Sättigungsfluß ϕ_{rs}
. . . die der remanenten Sättigungsinduktion entsprechende Größe (700 . . . 1300 pWb) und der größte zu erreichende remanente Fluß auf dem Magnetband.

Remanenter Fluß ϕ_r (= B_r)
. . . der auf dem Aufzeichnungsträger zurückgelassene Fluß

Kurzschlußfluß ϕ_k
. . . der aus dem magnetischen Aufzeichnungsträger in einen direkt benachbarten hochpermeablen magnetischen Kreis übertretende magnetische Fluß

Spezifischer Fluß ϕ'
. . . der auf die Spurbreite bezogene Kurzschlußfluß

Leerlauffluß ϕ_l
. . . der aus dem Aufzeichnungsträger austretende Streufluß, der durch keinen fremden magnetischen Nebenschluß beeinflußt wird

Bezugsfluß ϕ_0
Kurzschlußbandfluß eines festgelegten Wertes als Bezug zur Einstellung des Wiedergabekanals

Nennfluß ϕ_n
Remanenter Fluß, bei dem für einen bestimmten Aufzeichnungsträger unter festgelegten Aufzeichnungsbedingungen die höchstzulässige Verzerrung 3. Ordnung erzielt wird.

Nutzfluß
Remanenter Fluß als Folge eines Aufzeichnungssignals ohne die durch Störungen verursachten Flußanteile

Restfluß
Anteil des remanenten Flusses, der nach einer Wechselfeldlöschung zurückbleibt

Kopierfluß ϕ_K
Remanenter Fluß, der durch den Einfluß eines benachbarten Magnetfeldes, z. B. einer benachbarten Aufzeichnung, entstanden ist

3.2.4. Elektroakustische Kenngrößen

Um gerätetechnische Unterschiede auszuschalten, ist es üblich, die elektroakustischen Kennwerte eines neuen Bandtyps in bezug auf

ein bekanntes Band (Vergleichsband) auf einem Prüfmagnetbandgerät zu ermitteln und diese als Relativwerte anzugeben.

Meßbedingungen

Das verwendete Prüfmagnetbandgerät soll das Meßergebnis nicht unzulässig beeinflussen. Insbesondere müssen die nichtlinearen Verzerrungen und der Störpegel klein sein. Der Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers des Meßgeräts ist so einzustellen, daß sich beim Abspielen des jeweiligen TGL-Bezugsbands ein linearer Verlauf der Wiedergabespannung ergibt. Der Frequenzgang des Aufzeichnungsverstärkers ist so einzustellen, daß sich beim Abspielen des Vergleichsbands ein Wiedergabepegel entsprechend dem Frequenzteil des Bezugsbands einstellt. Die Eingangsspannung des Aufzeichnungsentzerrers soll dabei etwa 20 dB unter dem Wert für Vollaussteuerung liegen und die Frequenz des Vormagnetisierungsstroms etwa 80 kHz betragen. Üblicherweise sind die Messungen an 6,25 mm breiten Bändern mit Vollspuraufzeichnung

Tabelle 3.1. Meßbedingungen zum Ermitteln der elektroakustischen Eigenschaften von Audiomagnetbändern

	Prüfgeschwindigkeit [mm/s]			
	381 (MB 6)	95,3 (MB 6)	47,6 (MB 4)	
Leerteile der Bezugsbänder entsprechend dem Vergleichsband	BB 38 554218 CR 50 U6/ 62158[1)]	BB 19, 9, 4 012294 CS 35 U6/ 900094[1)]	BB 4K Fe_2O_3 291306 130 V4/ 1598[1)]	BB 4K CrO_2 50613
Spaltweiten [μm] der Aufzeichnungsköpfe (TGL 27010/01)	12 ± 3	12 ± 3[2)]	2 ± 0,5	
Bandzugskraft [N]	0,8 ± 0,1		0,5 ± 0,1	
Nennflußabstand [dB]			2 ± 0,5	3,5 ± 0,5
Klirrdämpfungsmaß [dB][3)]			38 ± 1	41 ± 1

[1)] alte Vergleichsbänder

[2)] Umschlingungswinkel 10 bis 16°

[3)] Werte müssen mit den zur Messung benutzten A-Köpfen auf den jeweiligen Vergleichsbändern erreicht werden

durchzuführen. Prinzipiell ist es auch möglich, mit geringerer Spurbreite zu messen. Weitere Meßbedingungen enthält Tabelle 3.1.

Vormagnetisierungsstrombedarf (Grenzstrom)
Für die Messung auf dem Prüfgerät ist der Grenzstrom des Vergleichsbands und des Probebands zu ermitteln. Dazu ist der Vormagnetisierungsstrom I_v bei konstantem Aufzeichnungsstrom I_z mit der Bezugsfrequenz so lange zu erhöhen, bis sich eine maximale Remanenz einstellt. Der Betrag des Aufzeichnungsstroms soll etwa 20 dB unter dem zum Erreichen des Bezugsflusses notwendigen liegen. Die so ermittelten Vormagnetisierungsströme sind dann bei den Messungen auf dem Vergleichs- bzw. Probeband zu verwenden.

Grenzstromabstand D_{v0}

$$D_{v0} = 20 \lg \frac{I_{v0P}}{I_{v0V}} \text{ (in dB)} \tag{6}$$

I_{v0P} – Grenzstrom des Probebands
I_{v0V} – Grenzstrom des Vergleichsbands

Relative Vormagnetisierung V

$$V = \frac{I_{vP}}{I_{vV}} \tag{7}$$

I_{vP} – Vormagnetisierungsstromstärke des Probebands
I_{vV} – Vormagnetisierungsstromstärke des Vergleichsbands

Nennfluß D_ϕ
Zur Bestimmung des Nennflusses ist auf das Band ein Signal der entsprechenden Bezugsfrequenz und verschiedener Aufzeichnungsstromstärken I_z aufzuzeichnen. Es ist die Wiedergabespannung U_{wnP} zu ermitteln, bei der eine kubische Verzerrung von $k_3 = 3\,(5)$ % erreicht wird.

$$D_\phi = 20 \lg \frac{U_{wnP}}{U_{w0}} \text{ (in dB)} \tag{8}$$

U_{w0} – vom Pegeltonteil des Bezugsbands unter gleichen Wiedergabebedingungen abgegebene Wiedergabespannung.

Klirrdämpfungsmaß D_{k3}
Zur Bestimmung des Klirrdämpfungsmaßes ist auf das Probeband ein Signal mit entsprechender Bezugsfrequenz und einer Aufzeichnungsstromstärke I_z aufzuzeichnen, die auf dem Band den Bezugsfluß hinterläßt. Es ist die Wiedergabespannung U_{w3P} der dabei auftretenden 3. Harmonischen der Bezugsfrequenz zu ermitteln.

$$D_{k3} = 20\lg \frac{U_{w0P}}{U_{w3P}} = 20\lg \frac{1}{k_3} \cdot 100 \text{ (in dB)} \tag{9}$$

k_3 – Klirrfaktor
U_{w0P} – Wiedergabespannung des Probebands entsprechend des Pegeltonteils des Bezugsbands

Relative Empfindlichkeit D_e
Auf das Probeband und auf das Vergleichsband ist je ein Signal mit Bezugsfrequenz aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungsstromstärke muß für beide Bänder den gleichen Wert haben und etwa 20 dB unter der Nennaufzeichnungsstromstärke des Vergleichsbands liegen.

$$D_e = 20\lg \frac{U_{wP}}{U_{wV}} \text{ (in dB)} \tag{10}$$

U_{wP} – Wiedergabespannung des Probebands bei Bezugsfrequenz
U_{wV} – Wiedergabespannung des Vergleichsbands bei Bezugsfrequenz

Relative Höhenempfindlichkeit D_h
Auf das Probeband sind Signale mit der Bezugsfrequenz und der Frequenz 10 kHz mit gleicher Eingangsspannung aufzuzeichnen. Die Eingangsspannung ist so zu wählen, daß die Aufzeichnungsstromstärke I_z bei der Bezugsfrequenz etwa 20 dB unter der Nennaufzeichnungsstromstärke des Vergleichsbands liegt.

$$D_h = 20\lg \frac{U_{w10P}}{U_{wP}} \text{ (in dB)} \tag{11}$$

U_{w10P} – Wiedergabespannung des Probebands bei$f$ = 10 kHz

Relative Aussteuerbarkeit bei 10 kHz D_{10max}
Die Aufzeichnungsstromstärke wird so weit erhöht, bis der Maximalwert der Wiedergabespannung erreicht ist.

$$D_{10max} = 20\lg \frac{U_{10maxP}}{U_{10maxV}} \text{ (in dB)} \tag{12}$$

U_{10maxP} – maximale Wiedergabespannung des Probebands bei $f = 10\,kHz$
U_{10maxV} – maximale Wiedergabespannung des Vergleichsbands bei $f = 10\,kHz$

Betriebsgeräuschspannungsabstand D_{BR}

$$D_{BR} = 20\lg \frac{U_{wnP}}{U_{BRP}} \text{ (in dB)} \tag{13}$$

U_{BRP} – Wiedergabespannung des Probebands einer Aufzeichnung ohne NF-Signal (Effektivwert und A-Bewertungskurve für Amateurbänder nach TGL 200-7755)

Gleichfeldrauschen mit Nennfluß D_{NGR}

$$D_{NGR} = 20\lg \frac{U_{wnP}}{U_{wr}} \text{ (in dB)} \tag{14}$$

U_{wr} – Wiedergabespannung einer Aufzeichnung, die mit Gleichstrom hergestellt wurde, dessen Stromstärke dem Effektivwert der Nennaufzeichnungsstromstärke I_{zn} entspricht.
U_{wnP} – Wiedergabespannung des Probebands bei $k_3 = 5\,\%$ kubische Verzerrung

Kopierdämpfungsmaß D_K

$$D_K = 20\lg \frac{U_{wn}}{U_{wK}} \text{ (in dB)} \tag{15}$$

U_{wn} – Wiedergabespannung des aufgezeichneten 1-kHz-Impulses
U_{wK} – Wiedergabespannung des zugehörigen, am stärksten kopierten Impulses (Mittelwertbildung aus mehreren Werten).

3.3. Konfektionierung und Kennzeichnung

3.3.1. Magnetband 6

Das Magnetband 6 ist für die Studiotechnik auf Wickelkernen (Bobbys) ohne Randschutz mit der Magnetschicht außenliegend in Längen von 1000 m aufgewickelt. Die mechanische Auslegung von Studiomaschinen gestattet diese freitragenden Bandwickel. Für Heimspulengeräte wird das Band auf Spulen mit der Schicht innenliegend geliefert.

Tabelle 3.2. Konfektionierung von ORWO-Spulenbändern (MB 6)

Magnetband Bezeichnung	Typ	Spulendurchmesser in mm 80	100	130	150	180	Wickelk.
Normalband	103, 104	–	–	190	240	350	1000[1)]
Langspielb.	113	65	130	250	350	520	–
Langspielb.	114 LH					520	–
Langspielb.	115 LH	–	–	–	–	–	1000[1)]
Doppelspielband	120, 121 LN	90	180	360	540	730	–
Doppelspielband	123 LH				540	730	–
Dreifachspielband	130, 131	135	270	540	730	–	–

[1)] Schichtlage außen

Tabelle 3.3. Kennzeichnung von Magnetbändern nach Dicke und Breite

genormte Breite (TGL) in mm	gerundete Breite in mm	gerundete Dicken und Zuordnung zur Breite/in μm
3,81 ± 0,05	4	9, 12, 18
6,25 ± 0,05	6	12, 18, 25, 30, 35, 50

Für die Kennzeichnung von ORWO-Magnetbändern gilt die TGL 27396:

1. Ziffer
1 Audioband
2 Magnetfilm
3 Spezialbänder mit magnetischer Schicht (z. B. Kaschierband)
4 Datenband (digital)
5 Datenband (analog)
6 Videoband
7 Zubehörband ohne magnetische Schicht

2. Ziffer
0 Normalband
1 Langspielband
2 Doppelspielband
3 Dreifachspielband
4 Vierfachspielband
5 Fünffachspielband
(Bezugsgröße der Mehrfachspielbänder: Banddicke des Normalbands

Tabelle 3.4. Bezeichnung nach der Dicke des Bandes und Haupteinsatzgebieten

Magnetbandbezeichnung	(gerundet in μm) Banddicke d_B	Trägerdicke d_u	Schichtdicke d_0	Einsatz
Normalspielband	50	37	13	Studio
Langspielband	35	25	12	Studio, Heim
Doppelspielband	25	18	9	Heim; Spule
Dreifachspielband	18	12	6	Heim; Spule, K 60
Vierfachspielband	12	8	4	Heim, K 90
Fünffachspielband	9	6	3	Heim, K 120

Die dritte Ziffer weist die Weiterentwicklung innerhalb eines bestimmten Bandtyps aus – z. B. vom Typ 110 (Grundtyp) zum Typ 114 (LH). Für die Kennzeichnung von Zubehör des Magnetbands 6 gilt:

Kennzeichnung des Bandanfangs	Typ 721 Grün
Kennzeichnung des Bandendes	Typ 722 Rot
Trennung verschiedener Aufzeichnungen auf einer Spule	Typ 723 Weiß
Kennzeichnung einer Aufzeichnung mit 190,5 mm/s	Typ 724 Gelb
Kennzeichnung einer Aufzeichnung mit 95,3 mm/s	Typ 725 Violett
Hinterklebeband	Typ 740 Transparent

3.3.2. Magnetband 4

Das Magnetband 4 ist in Kompaktkassetten eingelegt. Die Beschriftung einer Kompaktkassette kennzeichnet den Hersteller, die Spieldauer, das verwendete Magnetoxid, eine mechanische Besonderheit und die Angabe des gültigen HiFi-Standards für das unbespielte Band. Im einzelnen bezeichnet der Buchstabe C oder K die Kompaktkassette, die Zahl 60, 90 oder 120 die Spieldauer von 2×30, 2×45 oder 2×60 Minuten. Der Zusatz LN kennzeichnet geringes Grundrauschen und eine verbesserte Höhenempfindlichkeit, LH eine zusätzliche, bessere Aussteuerbarkeit von Eisenoxidbändern. CrO_2-Bänder haben eine gute Höhenaussteuerbar-

keit. FeCr steht für Zweischichtband mit besten Eigenschaften für HiFi-Geräte. Gute Laufeigenschaften des Bandes in der Kassette weist der Zusatz SM aus. Die Bezeichnung RK steht für Reinigungskassette.

3.4. Einsatz von Magnetbändern

Bei industriellen Bandgeräten richtet sich der Einsatz des Bandtyps nach den Angaben des Geräteherstellers. Es sollen diese oder Bänder mit sehr ähnlichen elektroakustischen und mechanischen Eigenschaften verwendet werden (ORWO-Bandtypen Tabelle 3.5.). Nur dann ist eine optimale Übertragungsgüte erreichbar.
Der Austausch eines älteren Bandtyps zum Zweck der Qualitätsverbesserung wird im allgemeinen eine Kette von Umrüstungen am bestehenden Gerät nach sich ziehen. Es ist zu prüfen, ob die Laufwerk-, Magnetkopf- und Magnetbandeigenschaften sowie die der Elektronik dem angestrebten Qualitätsstandard entsprechen und es sinnvoll ist, einen neuen (meist teureren) Bandtyp einzusetzen.
Die mechanischen Eigenschaften des Geräts müssen mit denen der Bänder verträglich sein. Auf Geräten, deren Köpfe und Führungselemente nicht genügend abriebfest sind, lassen sich CrO_2-Bänder nicht verwenden. Dünne Bänder sind nicht auf Geräten einsetzbar, deren Bandzüge und Bremsen für dickere Bänder ausgelegt sind. Manche Kassettengeräte zeigen bei C120-Kassetten ein Schlupfverhalten.
Die guten elektroakustischen Eigenschaften der neueren Bandtypen (LN, LH, CrO_2, FeCr) kommen nur im Zusammenhang mit einem auf diese Bänder eingemessenen Gerät zur Geltung. Dies gilt insbesondere für die Kassettentechnik, wo aus dem Band-Kopf-System zur Erreichung einer hohen Wiedergabequalität «das Letzte» herausgeholt wird. Besser als die statischen Kennwerte geben die von Bandherstellern angegebenen Kennlinien als Funktion des Vormagnetisierungsstroms (Bild 3.6) über die Austauschmöglichkeiten bzw. notwendigen Änderungen am bestehenden Gerät Auskunft.
Es kennzeichnen U_{10max} oder A_{10max} die maximale Aussteuerung bei 10 kHz ($k_3 = 5\,\%$), D_ϕ die maximale Aussteuerung bei Bezugspegel ($k_3 = 5\,\%$), U_{315}, U_{10} oder auch nur mit Ziffern an den Kur-

Tabelle 3.5. Daten von ORWO-Spulen- und Kassettenaudiobändern

Daten Typ	Einheit	103[2] (104)	113	Hifi 114 (115) LH[1]	116 LN	120[2]
Prüfbandgeschwindigk.	mm/s					95,3
Vergleichsband		CS 35 U6 900 094			012294	CS 35 U6 900 094
Spezifischer Bezugsfluß	nW/m					
Empfohlener Arbeitspunkt	dB	0	0	+0,8	+1,8	0
Nennflußabstand $D\phi$	dB	+6	+5	+8	+6	+4
Relative Empfindlichk. D_e	dB	0	0	+0,5	−1	-0,5
Relative Höhenempfindlichk. D_h	dB	0	0	+4	−2,5	+2
Kopierdämpfungsmaß D_K	dB	≥58	≥55	≥55 (≥58)	60	≥50
Klirrdämpfungsmaß D_{k3}	dB	≥37	≥35	≥40	40	≥33
Betriebsgeräusch bez. auf Nennfluß D_{BR}	dB	≥53	≥53	≥62	62	≥52
Aussteuerbarkeit bei 10 kHz D_{10max}	dB	+1	+1	≥4	−1,5	+3
Gesamtdicke	µm	50	35	35	30	25
Maximale Zugkraft	N	≥45	≥30	≥30	30	≥20

[1] Der Typ 115 besitzt gegenüber dem Typ 114 eine antistatische Rückseite, um den Einsatz auf freitragenden Wickeln zu ermöglichen.
[2] Produktion eingestellt

ven (z. B. 1; 6,3) bzw. E_{315}, E_{10} die Empfindlichkeit bei 315 Hz, 10 kHz bzw. 1 kHz und 6,3 kHz. Bänder, die eine bessere Empfindlichkeit und Aussteuerbarkeit als das ursprünglich vorgesehene Band besitzen, werden in den Höhen übersteuert (zu große Anhebung des Aufzeichnungsstroms und eventuell geringere Abstandsverluste durch glatte Bandoberflächen bzw. schmiegsamere Bän-

(Hifi)[2] 121 LN	122	(Hifi) 123 LH	130	131 LN	K 60 LN	K 90[2] LN	Hifi K 60 CrO_2
					47,5	47,5	47,5
012294	012294	012294	CS 35 U6	900 094	130 V4/1598		50613
	250						
+0,8	1,1	+2,8	0	+0,8	0	0	0
+6,5	+6	+8	+2	+3,5	1	+1	+1
0	−0,2	±0	−1	−1	0	0	0
+4	−0,5	−1,5	+2	+7	+4	+5	0
≥54	≥58	≥56	≥49	≥52	>52	>52	>54
40	39	45	≥30,5	31	≥35	≥33	≥36
≥60	61	68	≥49	≥58	52	50	≥56
+5	±0	≥+1	+3	+6	+6	+7	≥−1
25	25	25	18	18	18	12	18
≥20	20	≥20	≥15	15	≥8	≥5	≥8

der). Einen möglichen höheren Nennfluß verhindert die auf einen niedrigeren Nennfluß abgestimmte Aussteueranzeige bzw. -regelung, d. h., das Band wird bei mittleren Frequenzen untersteuert (Tabelle 3.6.). Würde man nun den Pegel des gesamten Frequenzbereichs um den der Untersteuerung entsprechenden Betrag erhöhen, so würden die Höhen noch mehr übersteuert (entsprechend

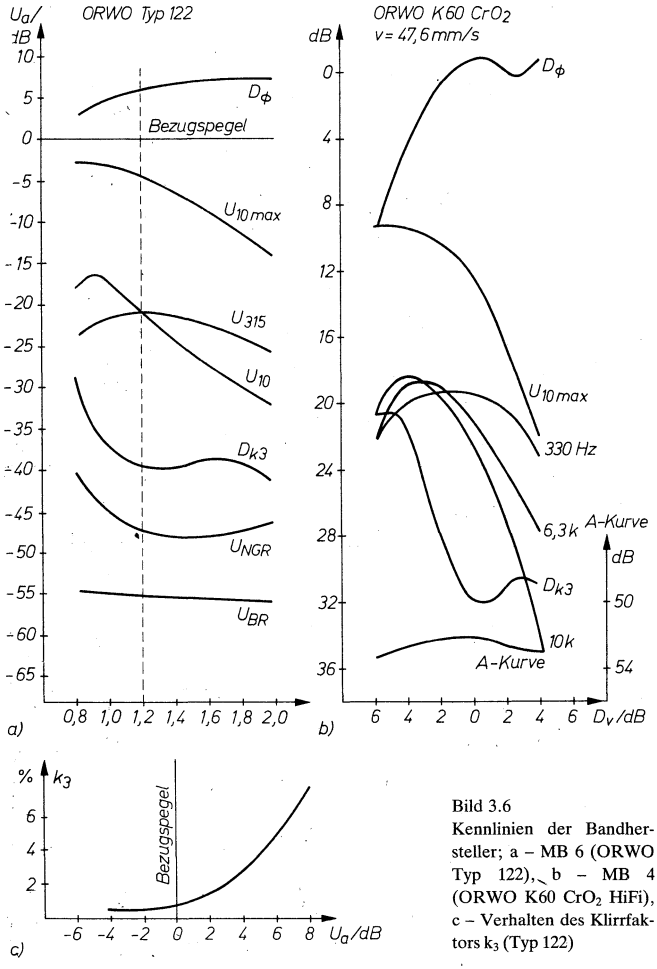
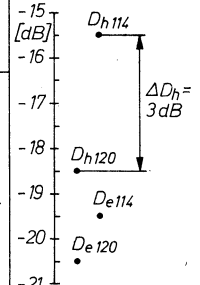


Bild 3.6
Kennlinien der Bandhersteller; a – MB 6 (ORWO Typ 122), b – MB 4 (ORWO K60 CrO_2 HiFi), c – Verhalten des Klirrfaktors k_3 (Typ 122)

Beispiel in der Tabelle 3.6. $\leq +5$ dB). Es kann also der Aufzeichnungsstrom bei 10 kHz um ≤ 5 dB abgesenkt werden (gleicher Bandflußverlauf vorausgesetzt). Das vorangegangene Beispiel sollte andeuten, daß ein Band mit besseren Eigenschaften nicht

Tabelle 3.6. Zur Ermittlung der Aussteuerung auf einem neuen Bandtyp

in dB	Bandtyp 120	Bandtyp 114	Typ 114 bezogen auf Typ 120 ΔD in dB	Resultierende Aussteuerung auf dem Typ 114
D_Φ	+4	+8	4	$\Delta D_e - \Delta D_\Phi$ = −3 dB (f = 315 Hz) | Untersteuerung
D_e	−0,5	+0,5	1	
D_h	+2	+4	3	$\Delta D_{10max} - \Delta D_h \leq$ +2 dB (f = 10 kHz) | Übersteuerung
D_{10max}	+3	≥+4	≥1	
Arbeitspunkt	0	+0,8	0,8	0,8



ohne weiteres eine Qualitätssteigerung erbringt. Es sind unter anderem der Nennaufzeichnungspegel, die Aufnahmeverzerrung und bei Änderung der Entzerrerzeitkonstante die Wiedergabeentzerrung und auch der Wiedergabepegel zu korrigieren. Bei stark abweichendem Arbeitspunkt ist auch die Vormagnetisierungseinstellung zu ändern.

Soll ein neues Gerät konzipiert oder ein bestehendes umgerüstet werden, so ist es besser möglich, geeignete Köpfe, Mechaniken und die entsprechende Elektronik für den vorgesehenen Bandtyp zusammenzustellen (Beispiel Abschnitt 6.). Die maximal erreichbaren Kennwerte lassen sich wiederum aus den Kennlinien f (I_v) im Vergleich der Bandtypen untereinander entnehmen. Es ist bei maximal möglichem Nennfluß f (k_3) der erreichbare Geräuschspannungsabstand (unter Berücksichtigung der Systemhöhe des Wiedergabekopfes – Abschnitt 5.) zu ersehen. Ebenso kann aus der Aussteuerung bei 10 kHz die maximal notwendige Untersteuerung von Programmen mit Signalanteilen gleicher Amplitude bei mittleren und hohen Frequenzen abgeschätzt werden.

Neben den das Band-Kopf-System beeinflussenden Eigenschaften muß man auch die ökonomische Seite betrachten. Im allgemeinen wird man bestrebt sein, eine möglichst lange Spielzeit bei geringen Bandkosten zu erreichen. Mit den konfektionierten Bandlängen (ORWO) erreichbare Spielzeiten enthält Tabelle 3.2. Bild 3.7 zeigt beliebige Spielzeiten und dazu notwendige Bandlängen

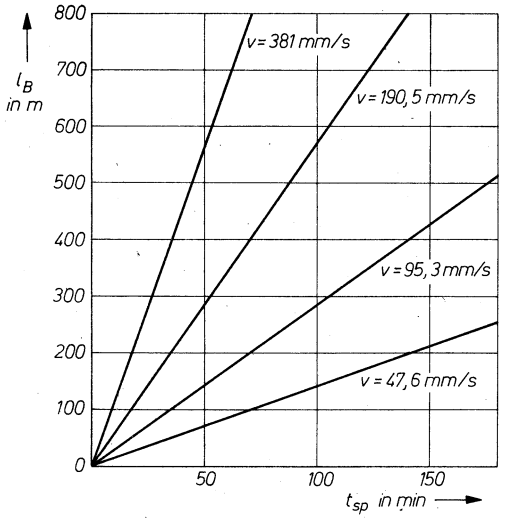


Bild 3.7 Zusammenhang Bandlänge – Spielzeit mit n = 2

(n = 2). Bei n = 1 ist die Bandlänge zu verdoppeln bzw. die Spielzeit zu halbieren, mit n = 4 die Bandlänge zu halbieren bzw. die Spielzeit zu verdoppeln.

Mit dem Bezug des Preises (EVP) auf eine Stunde Spielzeit von Magnetbandtypen läßt sich ein Vergleich zum Spielpreis anderer Tonträger durchführen.

Allgemein gilt:

- mit geringer Bandlänge auf einer Spule steigt der Spielpreis, für das Magnetband 4 (z. B. K 60 LN) ist in bezug auf das Magnetband 6 (121 LN, 540 m) bei gleicher Transportgeschwindigkeit etwa der vierfache Preis für eine Stunde Spielzeit zu zahlen bzw. die Transportgeschwindigkeit für Magnetband 6 kann zweimal verdoppelt werden, um Preisgleichheit zu erhalten,
- bezogen auf die Schallplatte ist der Spielpreis von Musikkassetten bzw. Eigenaufzeichnungen auf hochwertigem Magnetband 4 (K 60 CrO_2) mehr als anderthalbmal so hoch,
- für die Magnetband-6-Typen ist die Transportgeschwindigkeit beim Preisgleichgewicht zur Platte vorgegeben. Wählt man statt dessen die Musikkassette als Bezug , kann die vorgegebene Geschwindigkeit verdoppelt werden.

3.5. Aufbewahrung und Umgang

Beim Umgang und der Lagerung von Magnetbändern sind diese vor Staub, übermäßiger Wärme und Feuchte sowie vor magnetischen Einwirkungen zu schützen. Zum Schutz vor Staub sind die Spulenbänder in der Folientüte und im Verkaufskarton, die Kassetten in der Plastikschatulle aufzubewahren. Für die Aufbewahrung von Kassetten werden von der Industrie spezielle Kassettenboxen angeboten. Diese ermöglichen das Ordnen und einen schnellen Zugriff. Für Spulenbänder ist nichts Gleichwertiges im Angebot. Spulenbänder lassen sich aber auch in Filmschachteln des 8-mm-Formats unterbringen

Die günstigste Lagertemperatur liegt unter 25 °C. Äußere Magnetfelder fördern wie zu hohe Temperaturen den Kopiereffekt und können bei entsprechender Stärke die Aufzeichnung teilweise oder ganz löschen.

Magnetbänder sind deshalb vor Wärmequellen wie Öfen, Heizungen, elektrischen Geräten usw. fernzuhalten, vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen und nicht in der Nähe von Netztrafos, Motoren, Lautsprechern usw. abzulegen oder gar aufzubewahren. Alle magnetisierbaren Laufwerkteile des Magnettongeräts und die verwendeten Werkzeuge sind zu entmagnetisieren. Dies gilt insbesondere vor dem Abspielen von Bezugsbändern.

3.6. Zubehör

Als Zubehör werden die schon erwähnten Kennzeichnungsbänder und ein spezielles Hinterklebeband zum Zusammenfügen von Polyestermagnetband hergestellt. Um eine ordnungsgemäße Klebestelle zu erhalten, befindet sich auf der Rückseite der Verpackung eine Klebeschiene. Es sind aber auch Klebelehren für das Magnetband 6 und 4 entwickelt worden.

Ein weiteres wichtiges Zubehör ist die Reinigungskassette. Sie enthält ein spezielles Reinigungsband, das im normalen Vorlauf alle vom Magnetband berührten Teile einbezieht.

Zur Einstellung von Magnetbandanlagen gibt es Bezugsbänder und Meßbänder (siehe Abschnitt 5.). Analog zur Stereotestplatte (LB 107 – VEB Deutsche Schallplatten Berlin) werden im NSW Testkassetten (z. B. BIB HiFi-Stereo-Test-Cassette) für die sub-

jektive Überprüfung von Kassettengeräten der Heimtontechnik hergestellt. Angaben zur Anfertigung eines Testbands zur subjektiven Beurteilung der Wiedergabeeigenschaften sind im Abschnitt 5. enthalten. Für die Bandendabschaltung werden von einigen Bandherstellern Schaltfolien angeboten.

4. Der Magnetkopf

Der Magnetkopf dient der Anpassung des Informationsträgers (dynamisches elektromagnetisches Feld) an den Informationsspeicher (magnetische Schicht des Magnetbands, statisches elektromagnetisches Feld). Man teilt die Magnetköpfe nach der Funktion, der Spurbreite, der Spurenanzahl und dem verwendeten Kernmaterial ein. Die Gesamteigenschaften eines Magnetkopfes entsprechend seiner Funktion als Lösch-, Aufzeichnungs- oder Wiedergabekopf sind im Zusammenhang mit dem verwendeten Band und der Transportgeschwindigkeit zu sehen (Band-Kopf-System). Der Ausdruck hoch- bzw. niederohmiger Magnetkopf rührt vom Produkt ωL in Ω her, wobei die Grenzen nicht festliegen.
Hochohmig: $L>200$ mH; niederohmig: $L<500$ mH.

4.1. Allgemeines zum Aufbau

Die Einzelteile eines Magnetkopfes sind bei fast allen Typen gleich. Die Köpfe bestehen aus Kernpaketen (geklebte Bleche verschiedener Metallegierungen), Glasferrit- oder Sendustkernen, Spulen, Spaltfolien, Kern- und Spulenhalterungen, Abschirmungen, Füllmasse und Gehäuse. Prinzipiell setzt sich ein Magnetkopf (Bild 4.1) aus zwei symmetrischen Kernen zusammen, die einen geschlossenen magnetischen Kreis bilden. Er ist magnetisch sehr gut leitend. Der Arbeitsspalt (Bandlaufzone) stellt eine Unterbrechung des magnetischen Kreises dar. Er dient dem Ein- und Austritt des magnetischen Feldes. Die Spaltweite der Köpfe verhält sich bei den einzelnen Köpfen wie LK >AK > WK. Für jede Funktion und Bandtransportgeschwindigkeit ist eine optimale Spaltweite erforderlich. Damit die gesamte aufgezeichnete Spur mit Sicherheit gelöscht wird, ist die Spurhöhe des Löschkopfes etwas größer als die des Aufzeichnungskopfes. Um die Eigenschaften des magnetischen Kreises bei Aufzeichnungsköpfen in günstiger Weise zu verändern, befindet sich gegenüber dem Arbeitsspalt ein zweiter Spalt – der Scherungsspalt. Beide werden mit Spaltfolien aus magnetisch schlecht leitendem Material – Kupfer, Beryl-

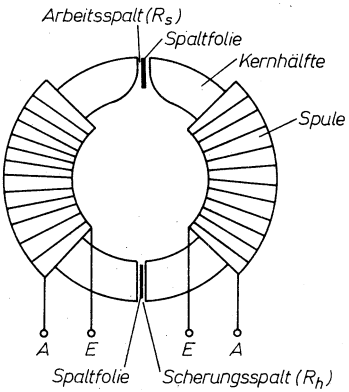


Bild 4.1
Konstruktionsprinzip von Induktionsmagnetköpfen, Ringmagnetkopf aus der Anfangszeit der modernen magnetischen Speichertechnik. Heutige Magnetköpfe unterscheiden sich in der Kernform (siehe z. B. Bild 1.5). Bei Aufzeichnungsköpfen ist ein Scherungsspalt vorgesehen ($R_h \gg R_s$).

lium, Bronze bei Mu-Metallkernen und Glas bei Ferrit- und Sendustkernen – ausgelegt. Zur Verringerung der Wirbelstromverluste bei Metallkernen (Frequenzverluste) ist der Kern aus einzelnen Blechen mit der Dicke von 0,2 bis 0,05 mm geschichtet.
Die Spulen sind direkt auf die beiden isolierten Kernhälften aufgebracht oder auf Spulenkörper gewickelt, die dann auf die Kernhälften aufgeschoben werden. Um den notwendigen Wickelraum zu erreichen, wendet man verschiedene Methoden an [14]. Die Einzelsysteme bei Mehrspurköpfen sind durch Abschirmplättchen

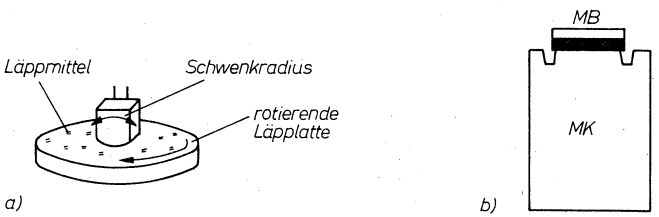


Bild 4.2. Schleifen und Läppen der Bandlaufzone;
a – des gesamten Kopfspiegels,
b – Kopfspiegelanschliff.
Der Gefahr des ungleichmäßigen Einschliffs in den Kopfspiegel bei verringertem Radius wird durch Schlitzen zum «Freilaufen» des Magnetbands begegnet.

voneinander getrennt, um die Systembeeinflussung untereinander zu verringern. Zum Schutz vor äußeren Fremdfeldern, die in den Arbeitsspalt eintreten könnten, befindet sich der Magnetkopf in einer Abschirmhaube. Vor dem Kopf (hinter dem Band) ist eine weitere Abschirmung angebracht. Damit ein guter Band-Kopf-Kontakt gewährleistet ist, wird die Bandlaufzone geschliffen, geläppt und poliert (Bild 4.2).

4.2. Eigenschaften

4.2.1. Mechanische und magnetische Eigenschaften (Magnetkopfkern)

Die mechanischen und magnetischen Eigenschaften, und damit die mechanischen und elektromagnetischen Kenngrößen, eines Magnetkopfes sind in starkem Maße vom verwendeten Kernmaterial und der Herstellungstechnologie abhängig. Allgemeine Anforderungen an das Kernmaterial sind:

- große Härte (Vickershärte HV) – Abrieb – Lebensdauer (Bild 4.12 a) bzw. Konstanz der von der geometrischen Veränderung betroffenen Kenngrößen (R_s, $R_F \rightarrow L$), Verhalten beim Band-Kopf-Betrieb (Zwangsführung, Abstandsverluste),
- hohe Anfangspermeabilität μ_a – große Induktivität bzw. bei gegebener Induktivität kleiner Wickelraum – großer Kernquerschnitt bzw. kleiner Wicklungswiderstand R_c möglich,
- hohe Sättigungsremanenz B_s – große Aussteuerung möglich,
- geringe Koerzitivfeldstärke H_c – kleine Hysteresisverluste (weichmagnetische Werkstoffe),
- hoher spezifischer elektrischer Widerstand – kleine Wirbelstromverluste.

  Für Kernbleche sind Muniperm, z. B. Legierungen aus Eisen (Fe) 10,5 Prozent, Nickel (Ni) 79 Prozent, Molybdän (Mo) 4 Prozent, Niob (Nb) 3 Prozent, Titan (Ti) 3 Prozent, Mangan (Mn) 0,5 Prozent (FeNi 79, VEB *Halbzeugwerk Auerhammer* [15]) gebräuchlich. Die Anfangspermeabilität $\mu_a > 20000$ der Kernbleche verringert sich während des Herstellungsprozesses des Magnetkopfes auf $\mu_a \lesssim 5000$.

  Weichmagnetische Ferritkerne gestatten höhere Grenzfrequenzen (bis 500 kHz) und sind gegenüber den metallischen Kernen

wesentlich abriebfester. Damit weisen sie eine längere Lebensdauer auf. Nachteilig ist die geringere magnetische Leitfähigkeit ($\mu_a = 2000$), die durch größere Windungszahlen, Verschlechterung der elektrischen Kennwerte (siehe z. B. R_c des *W2H9* und *W2H41*, Tabelle 4.4.) gegenüber einem Kopf aus Metall bei gegebener Induktivität ausgeglichen werden muß. Ein weiterer Nachteil ist die Sprödigkeit der Ferrite, die einer exakten Spaltkantenbegrenzung entgegenwirkt. Zur Umgehung der mechanischen Nachteile von Ferriten wird Glas als Bindemittel zwischen den Ferritkörnern der Außenschicht verwendet (Glasferritköpfe). Spalt und Pole bestehen aus gleichem keramischem Material und ermöglichen eine einheitliche Bearbeitung (Schleifen und Läppen der Bandlaufzone). Ähnliche Probleme wie bei den Ferriten treten beim magnetisch sehr gut leitenden Sendust [16] auf. Sendust besteht aus Eisen (84,5 %), Silizium (9,7 %) und Aluminium (5,8 %). Es wird mit einer Reinheit von 99,9 Prozent im Vakuumschleudergußverfahren hergestellt. Wegen der sehr großen Sprödigkeit werden dem Sendust «Weichmacher», wie Yttrium, Cerium, Titan oder Zirkonium, zugesetzt. Dadurch verringern sich die sehr guten magnetischen Eigenschaften. Sie liegen aber immer noch über denen der superharten Permalloy (FeNi-Legierung) oder heiß gepreßten Ferrite. Durch Oberflächenvergütung mit im Hochvakuum aufgedampftem Sendustplasma werden die unterschiedlichen Härtegrade von Sendust und Permalloy, der den Kern umgibt, ausgeglichen.

4.2.2. Elektromagnetische Eigenschaften (Induktivität – Magnetkopfwiderstand)

Die elektromagnetischen Eigenschaften eines Magnetkopfes (von der Wicklung aus gesehen) werden im wesentlichen von der Auslegung des magnetischen Kreises (Spaltwiderstände, Kernwiderstand) und der Wicklung bestimmt. Kenngrößen dafür können die Güte des elektrischen Kreises und der Shuntkoeffizient für den magnetischen Kreis sein.
Die Induktivität (Selbstinduktion) ist als Verhältnis des Induktionsflusses (ψ) zum Strom (I) definiert:

$$L = \frac{\psi}{I} . \tag{16}$$

Mit den Gleichungen

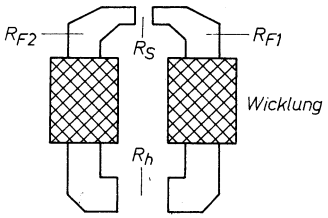
$$\psi = w\varphi \text{ [in VS]}$$

$$\Phi = \frac{I_w}{R_m} \qquad \text{(17) und (18)}$$

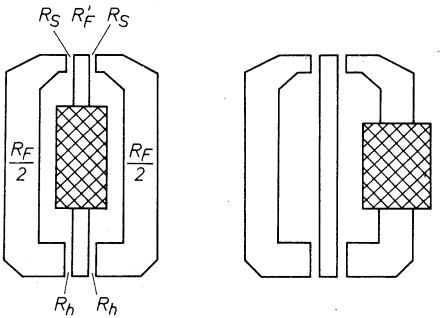
ergibt sich als Dimensionierungsgleichung

$$L = \frac{w^2}{R_m}. \qquad (19)$$

Es bedeuten:
Φ – Induktionsfluß bezogen auf die Windungszahl w
$I \cdot w = \Theta$ – magnetische Urspannung
R_m – magnetischer Kreiswiderstand



a)



b)

Bild 4.3
Magnetischer Kreiswiderstand von Magnetköpfen und Anordnung der Kernteile und Wicklung;
a – Aufzeichnungs- und Wiedergabeköpfe,
b – Löschköpfe
(R_h bei Wiedergabe- und Löschköpfen gegen Null)

Der magnetische Kreiswiderstand eines Magnetkopfes (Bild 4.3) setzt sich aus den Teilwiderständen zusammen:

$$R_m = R_s + R_{F1} + R_{F2} + R_h \,. \tag{20}$$

R_s – magnetischer Arbeitsspaltwiderstand
$R_{F1,2}$ – magnetische Kernwiderstände
R_h – magnetischer Scherungsspaltwiderstand
R_h wird nur bei Aufzeichnungsköpfen zur Linearisierung der Aussteuerung des Kopfes vorgesehen. Bei der hinteren Spaltweite $w_h > 0{,}1$ mm können die kubischen Verzerrungen vernachlässigt werden. Die Gleichungen (21) bis (23) gelten für die Bilder 4.3 a und b.

$$R_m = R_F' + \frac{R}{2} \tag{21}$$

$$R_m = R + \frac{R_F' R}{R_F' + R} \tag{22}$$

$$R = R_s + \frac{R_F}{2} + R_h \tag{23}$$

Aus den Widerstandsersatzschaltungen (Bild 4.4) lassen sich analog dem Grundstromkreis in der E-Technik folgende Beziehungen herleiten:

$$\frac{\Phi_F}{\Phi_0} = \frac{R_S}{R_m} = \frac{\Theta_s}{\Theta_0} \tag{24}$$

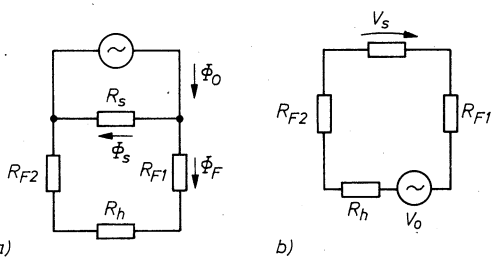


Bild 4.4 Widerstandsersatzschaltung zum magnetischen Kreiswiderstand;
a – Wiedergabekopf,
b – Aufzeichnungskopf

Das Verhältnis $R_s/R_s + R_F$ wird mit Shuntkoeffizient σ_s bezeichnet. Es wird angestrebt, den Kernwiderstand in bezug auf den Arbeitsspaltwiderstand klein zu halten ($R_F \ll R_s$). Dies macht eine hohe Permeabilität, einen großen Kernquerschnitt und eine geringe Arbeitsspalttiefe erforderlich. Beim Wiedergabekopf kommt dem noch entgegen, daß wegen der geringen Aussteuerung kein Scherungsspalt erforderlich ist. Es läßt sich jedoch nur $R_F < R_s$ erreichen. Der magnetische Kernwiderstand ist frequenz- und aussteuerungsabhängig und den unterschiedlichen Betriebsbedingungen nicht proportional. Er weist komplexen Charakter auf ($R_F = |\underline{R}_F^{\leq}(I,f)|$) und läßt sich über die komplexe Permeabilität bestimmen [14, 17]. Die Abhängigkeit der magnetischen Widerstände vom Abrieb (Veränderung der Geometrie) eines Kassettenkopfes enthält Bild 4.12 b.

Magnetkopfwiderstand R_{MK}

Der Magnetkopfwiderstand ist die für die Dimensionierung der Elektronik (Anpassung an vor- bzw. nachgestaltete Baugruppen) notwendige Größe. Er läßt sich durch einfache Strom-Spannungsmessung bei den jeweiligen Arbeitsfrequenzen (z. B. Bezugsfrequenz und Vormagnetisierungsfrequenz) nach Gl. 25 ermitteln. Im verlustlosen Kreis ist der ideale Magnetkopfwiderstand der Induktivität und der Frequenz proportional (Gl. 26), und zwischen Spannung und Strom besteht eine Phasenverschiebung von 90° (Strom eilt nach).

$$R_{MK} = \frac{U}{I},\ R_{MK} - \text{Scheinwiderstand} \tag{25}$$

$$X_L = \omega L,\ X_L - \text{induktiver Blindwiderstand} \tag{26}$$

Jedes reale induktive Bauelement, so auch der Magnetkopf, ist mit Verlusten behaftet, die von den Materialeigenschaften und dem geometrischen Aufbau des Kerns (bestimmend für den Kernwiderstand), der Frequenz und der Aussteuerung (Betriebsbedingungen) abhängen und im induktiven Verlustwiderstand R_v zusammengefaßt sind:

$$R_v = \frac{w^2 R_F \omega}{|R_s + \underline{R}_F^{\leq}|^2} \tag{27}$$

$\underline{R}_F^{\leq}$ – komplexer Kernwiderstand

Da sich Strom, Frequenz und Geometrie des Kerns (Abrieb) beim

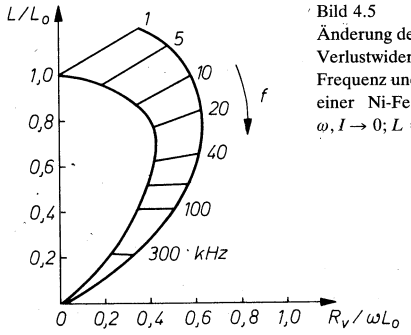


Bild 4.5
Änderung der Induktivität und des induktiven Verlustwiderstands in Abhängigkeit von der Frequenz und des Stroms – typische Kennlinie einer Ni-Fe-Legierung (Anfangsbedingung: $\omega, I \rightarrow 0$; $L = L_0$ bei $R_v \rightarrow 0$)

Betrieb ändern, ist die Induktivität wegen der Beeinflussung des magnetischen Kreises über den Verlustwiderstand R_v (f, I) von der Frequenz und dem Strom (Bild 4.5) und auch wegen der mechanischen Beeinflussung der magnetischen Teilkreiswiderstände R_s und R_F (Bild 4.12 c) von den Betriebsbedingungen abhängig. Weitere elektrische Verluste treten durch den Wicklungswiderstand R_c und die Wicklungskapazität C auf.

$$R_c = \frac{l}{\varkappa_0 \cdot A} \tag{28}$$

A – Drahtquerschnitt
l – Drahtlänge
$\varkappa_0$ – spezifischer elektrischer Leitwert

Die Wicklungskapazität liegt in der Größenordnung von $C < 50$ pF und kann bei niedrigen Frequenzen vernachlässigt werden. Bei der Vormagnetisierungsfrequenz (40 bis 110 kHz) und bei «hochohmigen» Köpfen (große Wicklungskapazität) muß sie jedoch berücksichtigt werden.

Der Magnetkopfwiderstand setzt sich demnach aus dem Blindanteil mit L (f, I) und der Wicklungskapazität C sowie dem induktiven Verlustwiderstand R_v (f, I) und dem Gleichstromwiderstand R_c = konst. zusammen. Da den Beträgen der einzelnen Widerstände verschiedene Winkel (Wirkrichtung) zuzuordnen sind, können sie nicht einfach addiert werden. Eine Möglichkeit bietet die komplexe Ebene, in der die einzelnen Elemente des Magnetkopfes zu einem Realanteil $R^{\perp}$ $(\varphi = 0°)$ und einem Imaginärteil $R^{\parallel}$

($\varphi = \pm 90°$) zusammengefaßt sind und dann als Quadrate addiert werden können. Der Magnetkopfwiderstand R_{MK} ist der Betrag des komplexen Widerstands

$$R_{MK}^{<} = R^{\perp} + \mathrm{j}R^{\shortparallel} . \tag{29}$$

Aus der gemessenen Ortskurve Bild 4.6 folgt für den Magnetkopfwiderstand eine einfache Ersatzschaltung aus LCR-Elementen (Bild 4.7 a). Der komplexe Magnetkopfwiderstand entsprechend dieser Schaltung ist dann

$$R_{MK}^{<} = \frac{1}{\dfrac{1}{R + \mathrm{j}\omega L} + j\omega C} = \frac{R + \mathrm{j}\omega L}{1 - \omega^2 LC + \mathrm{j}\omega RC} \tag{30}$$

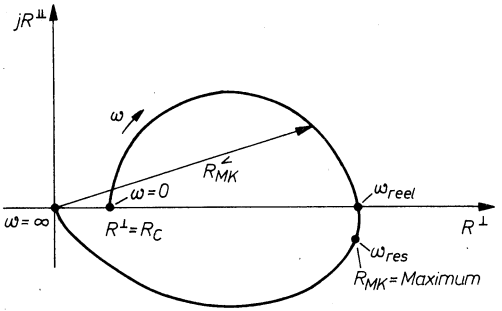


Bild 4.6 Ortskurve $R^{<} = R^{<}(\omega)$

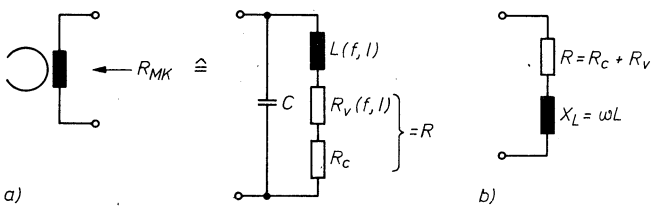


Bild 4.7 Ersatzschaltbild eines Magnetkopfes;
a – einfache Ersatzschaltung mit LCR-Elementen entsprechend Bild 4.6,
b – weiter vereinfachte Ersatzschaltung

und der Betrag des komplexen Widerstands

$$R_{MK} = |R_{MK}^{<}| = \sqrt{R^{\perp 2} + R^{\parallel 2}}\,. \tag{31}$$

Für $R^{\perp}$ bzw. $R^{\parallel}$ ist einzusetzen:

$$R^{\perp} = \frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}$$

$$R^{\parallel} = \frac{\omega L(1 - \omega^2 LC) - \omega R^2 C}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2} \tag{32 und 33}$$

Der häufigste Arbeitsbereich liegt bei $\omega < \omega_{reell}$ mit

$$\omega_{reell} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2}\,. \tag{34}$$

Der Einfluß der Kapazität kann bei $\omega \ll \omega_{reell}$ vernachlässigt werden. Es gilt dann die Ersatzschaltung gemäß Bild 4.7 b und die Gleichung

$$R_{MK}^{<} \approx R + j\omega L. \tag{35}$$

4.3. Kenngrößen und Begriffe

4.3.1. Geometrische Kenngrößen

Die Bilder 4.8 a bis 4.8 e erklären die geometrischen Kenngrößen

Spalthöhe h_s
Abmessung der Spaltkante

Spaltweite w_s
Vorderer Abstand der beiden Spaltkanten (mikroskopisch meßbar)

Spalttiefe d_s
Abmessung der Polflächen senkrecht zur Spaltkante

Arbeitsabstand l_a
Abstand zwischen dem Informationsträger und dem Kopfspiegel am Arbeitsspalt

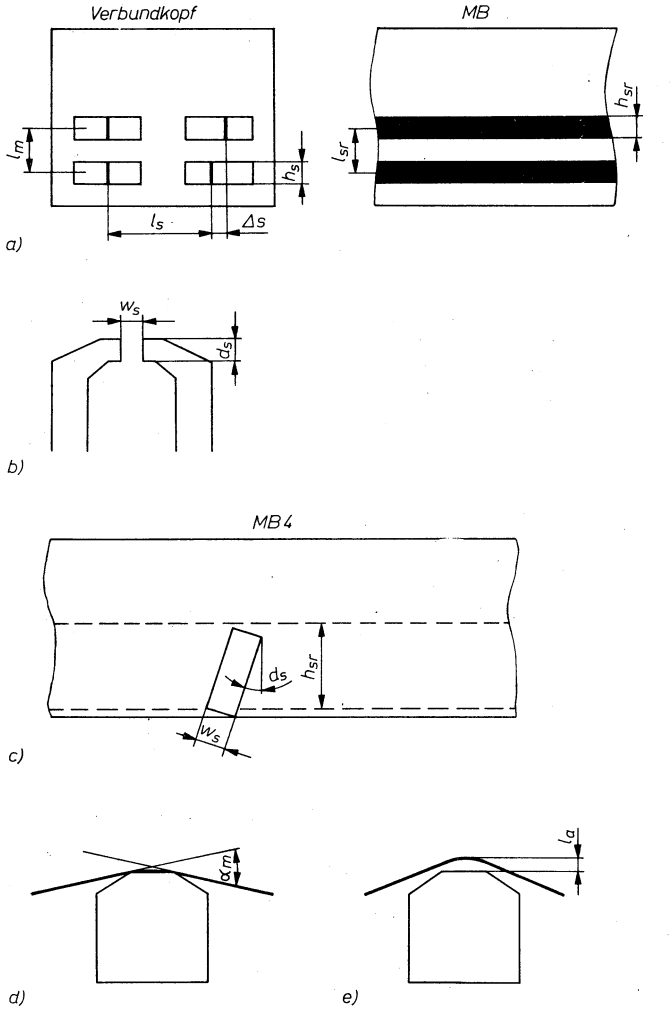


Bild 4.8 Geometrische Kenngrößen von Magnetköpfen

Systemabstand l_m
Mittenabstand der Spalthöhe benachbarter Magnetsysteme in einem Mehrspurkopf

Spaltabstand l_s
Abstand der Mittelebenen der Arbeitsspalte zweier Magnetsysteme, die in Richtung der Arbeitsgeschwindigkeit angeordnet sind

Spaltversatz Δs
Abstand der Mittelebenen zweier Arbeitsspalte in einem Mehrspurkopf

Spurhöhe h_{sr}
Abmessung der Magnetspur senkrecht zur Richtung der Arbeitsgeschwindigkeit

Spurmittenabstand l_{sr}
Mittenabstand zweier Magnetspuren

Spaltneigung α_s
Schrägstellung des Arbeitsspalts in der Ebene des Kopfspiegels gegenüber der Sollrichtung

Umschlingungswinkel α_m
Winkel der Richtungsänderung des Informationsträgers am Magnetkopf. Erläuterung des Einflusses auf den B-K-Betrieb erfolgt im Abschnitt 5.

4.3.2. Elektromagnetische Kenngrößen

Neben den elektromagnetischen Kenngrößen (L, R_v, R_{MK} entsprechend Abschnitt 4.2.2.) benötigt man zur Dimensionierung der Elektronik (Verstärkung, Arbeitspunkt) noch Kenngrößen, die die Eigenschaften eines Magnetkopfes beim Band-Kopf-Betrieb, d. h. im Zusammenhang Bandeigenschaften – Transportwerkeigenschaften – Magnetkopfeigenschaften –, charakterisieren.
Stehen keine Kennwerte eines Magnetkopfes zur Verfügung, lassen sich diese mit Hilfe eines Bezugsbands für die gegebene Arbeitsgeschwindigkeit ermitteln. Nachfolgend sind in diesem Zusammenhang interessierende Kenngrößen aufgeführt. Diese sind keine reinen Magnetkopfkennwerte, sondern Band-Kopf-Be-

triebsgrößen, die dem Magnetkopf zugeordnet sind und auf deren Messung im Abschnitt 5. näher eingegangen wird.

Wiedergabefaktor $\ddot{u}_w$ [$\mu V/pWb$]
Wiedergabespannung bei der Bezugsfrequenz, bezogen auf den Bezugsfluß bei einer bestimmten Arbeitsgeschwindigkeit

$$\ddot{u}_w = \frac{U_w}{\phi_r} \tag{36}$$

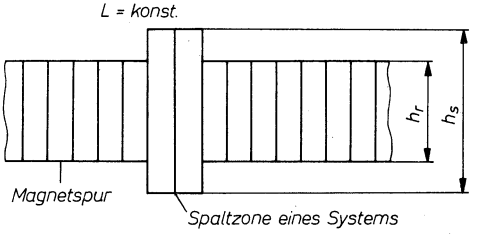
U_w – Spannung, die durch den remanenten Fluß ϕ_r in der Wicklung induziert wird $U_w \sim d\phi/dt$. Für den Wiedergabefaktor bzw. die Wiedergabespannung sind $h_s > h_r$ und $h_s < h_r$ zu unterscheiden (Bild 4.9). Der remanente Bezugsfluß ($\phi_r = \phi_0$) muß bei $h_s < h_r$ entsprechend untersetzt werden:

$$\phi_0 = \phi' \frac{h_r}{h_s} \tag{37}$$

Frequenzgang FG (dB)

$$FG = 20 \lg \frac{U_{wfo}}{U_{wfu}} \tag{38}$$

U_{wfo} – Widergabespannung bei der oberen Grenzfrequenz f_o
U_{wfu} – Wiedergabespannung bei der unteren Bezugsfrequenz f_u
Vom Magnetkopfhersteller wird im allgemeinen die Übertra-



1. $h_s > h_r$ $\quad U_w \sim 1/\sqrt{h_s}$ $\quad \ddot{u}_w \sim 1/\sqrt{h_s}$
2. $h_s < h_r$ $\quad U_w \sim \sqrt{h_s}$ $\quad \ddot{u}_w \sim 1/\sqrt{h_s}$

Bild 4.9
Wiedergabespannung und Zuordnung Spurhöhe – Spalthöhe

gungskurve U_w (f) im Pegelmaß der Wiedergabeleerlaufspannung des Frequenzgangteils des jeweiligen Bezugsbands angegeben.

Effektive Spaltweite w'_{seff} (μm)
Fiktive Spaltweite, die der größten Wellenlänge entspricht, bei der sich für die Wiedergabespannung infolge der Spaltfunktion ein Minimum bildet ($w'_{seff} \approx w_s/0{,}881$) (39)

Koinzidenzlänge (mm)
Größte aufgezeichnete Wellenlänge, bei der die unter Betriebsverhältnissen gemessene Wiedergabespannung in Abhängigkeit von der Frequenz ein relatives Minimum besitzt.

$$\Omega_m = \frac{v}{f_m} \tag{40}$$

Fremdfelddämpfungsmaß a_{st} (dB)

$$a_{st} = 20\,\lg \frac{U_{wo}}{U_{st}/n} \tag{41}$$

U_{wo} – Wiedergabespannung vom Bezugsband beim Pegeltonteil
U_{st} – Wiedergabespannung (max) im homogenen Störfeld von $H = 0{,}4$ A/m ($B = 0{,}5$ pWb/mm^2) bei $f = 50$ Hz
n = 300 für $H = 120$ A/m

Schirmdämpfungsmaß a_{sch} (dB)

$$a_{sch} = 20\,\lg \frac{U_{ws}}{U_w} \tag{42}$$

U_{ws} – Wiedergabespannung (max) im definierten Magnetfeld mit Abschirmung des Magnetkopfes
U_w – Wiedergabespannung (max) im definierten Magnetfeld ohne Abschirmung des Magnetkopfes

Nebenspur-Dämpfungsmaß des Wiedergabekopfes a_{srw} (dB)

$$a_{srw} = 20\,\lg \frac{U_{wH}}{U_{wN}} \tag{43}$$

U_{wH} – Wiedergabespannung der Hauptspur, die betriebsmäßig aufgezeichnet worden ist (z. B. mit $I_{zn} + I_{v0}$)
U_{wN} – Wiedergabespannung der Nebenspur, für die das Aufzeichnungssystem im Leerlauf betrieben wurde.

Nebenspur-Dämpfungsmaß des Aufzeichnungs-Wiedergabekopfes a_{sr} (dB)

$$a_{sr} = 20 \lg \frac{U_{wH}}{U_{wN}} \tag{44}$$

U_{wN} – Wiedergabespannung von der Nebenspur, für die das Aufzeichnungssystem betriebsmäßig abgeschlossen, jedoch nur mit dem Vormagnetisierungsstrom gespeist wurde.

Verbunddämpfungsmaß a_v (dB)

$$a_v = 20 \lg U_{wn}/U_{wst} \tag{45}$$

U_{wn} – Nutzspannung, die von der Aufzeichnung herrührt
U_{wst} – Störspannung, die vom gespeisten Verbundsystem herrührt

Löschdämpfung D_l (dB)

$$D_l = 20 \lg \frac{U_w}{U_{wr}} \tag{46}$$

Dämpfung einer Aufzeichnung (z. B. Vollaussteuerung bei $f = 1$ kHz und $k_3 = 3$ %) durch Löschen.

Löschstrom I_l (mA)
Strom, der durch die Wicklung des Löschkopfes fließt.

Nennlöschstrom I_{ln} (mA)
Löschstromstärke, mit der unter festgelegten Bedingungen für einen bestimmten Aufzeichnungsträger ein angegebenes Löschdämpfungsmaß erreicht wird

Aufzeichnungsstrom I_z (μA)
Strom, der durch die Wicklung des Aufzeichnungskopfes und vom Aufzeichnungssignal bestimmt wird. Mit der Frequenzabhängigkeit des Aufzeichnungsstroms wird bei konstantem Vormagnetisierungsstrom der Frequenzgang des Frequenzgangteils der Bezugsbänder erreicht

Aufzeichnungsfaktor $\ddot{u}_z$ (pWb/μA)

$$\ddot{u}_z = \frac{\phi_r}{I_z} = \frac{\phi_0}{I_z} \frac{h_s}{h_r} \tag{47}$$

ϕ_r – aufgezeichneter remanenter Fluß bei Bezugsvormagnetisierungsstrom und vorgegebenem Aufzeichnungsträger unter Angabe der Wellenlänge

Sättigungsstrom I_{zs} (μA)
Aufzeichnungsstrom, mit dem Sättigung eines bestimmten Aufzeichnungsträgers erreicht wird

Vormagnetisierungsstrom I_v (μA)
Strom, der durch die Wicklung des Aufzeichnungskopfes oder eines besonderen Vormagnetisierungskopfes fließt und der Erzeugung des Vormagnetisierungsfeldes dient

Bezugs-Vormagnetisierungsstrom I_{vb} (μA)
Vormagnetisierungsstrom, der in Verbindung mit einem bestimmten Aufzeichnungskopf zur Festlegung bestimmter Eigenschaften eines Aufzeichnungsträgers dient

Nenn-Vormagnetisierungsstrom I_{vn}/I_{v0} (Arbeitspunkt)
(Relative) Vormagnetisierungsstromstärke, die für einen bestimmten Aufzeichnungsträgertyp empfohlen wird

Grenzstrom I_{v0} (auch als optimaler Vormagnetisierungsstrom bezeichnet – μA)
Vormagnetisierungsstrom, mit dem bei hinreichend kleiner konstanter Amplitude und hinreichend großer Wellenlänge des aufzuzeichnenden Signals ein maximaler remanenter Fluß erreicht wird.

4.4. Ermittlung der Magnetkopfkenngrößen zur Dimensionierung der Elektronik

Ein Beispiel zur Dimensionierung der Elektronik des Band-Kopf-Systems enthält Abschnitt 6. Die dafür benötigten Kennwerte des Magnetkopfes können teilweise den Typenblättern der Magnetkopfhersteller (Tabellen 4.3. und 4.4.) entnommen werden. Weitere, nicht aufgeführte Kennwerte muß man aus den angegebenen Werten berechnen bzw. selbst bestimmen (messen). Die Komponenten des Magnetkopfwiderstands (L, R_v, R_c und P_v, Q) können mit nachfolgendem Meß-Rechen-Verfahren ermittelt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Messen mit einer Brükkenschaltung liegt darin, daß die Kenngrößen unter den jeweiligen

Betriebsbedingungen erhalten werden (I_{zn}, f_1 usw.) und keine speziellen Meßgeräte erforderlich sind. Es können die im Meßgerätepark üblichen Geräte, wie Oszillograph, Frequenzmesser und Millivoltmeter, genutzt werden. Exakt lassen sich die Kenngrößen mit diesem Verfahren bei der Eigenresonanzfrequenz bzw. mit zusätzlichem Meß- und Rechenaufwand auch bei beliebigen Frequenzen bestimmen. Nachfolgende Beziehungen gelten bei Vernachlässigung der Eigenkapazität des Magnetkopfes ($\omega \ll \omega_{res}$).
Zur Berechnung der Kenngrößen müssen die Meßgrößen U, I, f und φ bekannt sein. Dazu ist eine Meßschaltung entsprechend der Prinzipschaltung Bild 4.10 erforderlich. Der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung läßt sich aus den Größen der auf dem Oszillographenschirm erscheinenden Figur berechnen:

$$\varphi = \arcsin a/b = \arcsin a'/b' \tag{47 a}$$

Der Phasenfehler der Meßanordnung darf 1° nicht überschreiten. Die gesuchten Größen werden errechnet:

Magnetkopfwiderstand

$$R_{MK} = U/I = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \tag{47 b}$$

$$R = R_c + R_v \tag{47 c}$$

Magnetkopfinduktivität

$$L = U \cdot \sin\varphi / I\omega \tag{47 d}$$

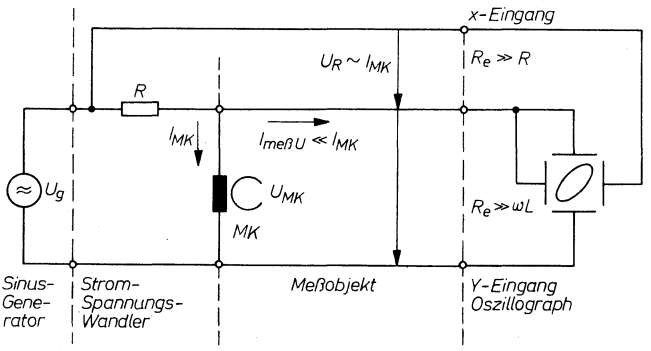


Bild 4.10 Prinzip einer Meßschaltung der Wechselstromgrößen (U, I, f) und deren Beziehungen untereinander (Z, φ) an einem Zweipol

Frequenzabhängiger Verlustwiderstand

$$R_v = U \cdot \cos\varphi / I - R_c \tag{47 e}$$

Verlustleistung

$$P_v = I^2 R = UI \cdot \cos\varphi \tag{47 f}$$

Güte

$$Q = \tan\varphi = \omega L / R \tag{47 g}$$

R_c kann mit einer Widerstandsmeßbrücke bzw. durch Strom-Spannungsmessung (Gleichstrom) bestimmt werden. Der Magnetkopf ist danach mit einer Löschdrossel zu entmagnetisieren.

4.5. Magnetkopftypen

4.5.1. Einteilung und Kennzeichnung

Tonmagnetköpfe lassen sich ihrer Funktion nach in Wiedergabe-, Lösch-, Aufzeichnungs- und Vormagnetisierungsköpfe als Einfunktionsköpfe unterscheiden. Mehrfunktionsköpfe sind kombinierte Köpfe. Es können alle Einzelfunktionen in einem Kopf untergebracht sein. Die häufigste Kombination ist der Aufzeichnungs/Wiedergabekopf mit einem System für beide Funktionen. In der Kassettentechnik werden auch Aufnahme- und Wiedergabesystem in einem Kopf (Verbundkopf) getrennt untergebracht. Die Benennung nach der Spurbreite bezieht sich auf die Bandbreite – Voll-, Halb- und Viertelspur des Magnetbands 6 und Halb-, Viertel- und Achtelspur in der Kompaktkassettentechnik mit dem Magnetband 4. Nach der Spurenanzahl lassen sich Magnetköpfe der Heimtontechnik in Ein- bis Vierspurköpfe einteilen. In Rundfunk- und Plattenstudios sind z. B. auch 16 Spuren auf Magnetband 50 üblich.
Aus der Tabelle 4.1. ist die Typenbezeichnung von Magnetköpfen des VEB *Goldpfeil Magnetkopfwerk Hartmannsdorf* ersichtlich. Daraus geht hervor, daß ein Kopf mit der Bezeichnung X2C25L ein Aufzeichnungs/Wiedergabekopf mit zwei Systemen für Vierspurtechnik auf Magnetband 4 mit der Typennummer 25 in Langlebensdauer-Ausführung ist. Farbige Kennzeichnung – insbesondere bei kleinen Bauformen – bedeutet: rot – Löschkopf, blau –

Aufzeichnungskopf, weiß oder schwarz – Wiedergabekopf, grün – A/W-Kopf. Als Kurzbezeichnung wird der die Funktion bezeichnende erste Buchstabe und die Typennummer verwendet, z. B. X25.
Gemäß TGL 200-7101 ist die Kennzeichnung der Anschlüsse von Studiomagnetköpfen wie folgt festgelegt:
- Magnetköpfe mit einem System (mono)
  schwarz – Schirm- oder Masseanschluß
  grün – vorzugsweise an Masse zu legender Anschluß
  rot – vorzugsweise gegen Masse spannungsführender Anschluß
- Magnetköpfe mit zwei Systemen (stereo)
  schwarz – Schirm- oder Masseanschluß
  rot/grün – System 1 (links)
  weiß/blau – System 2 (rechts)

Grün und blau sind vorzugsweise mit Masse zu verbinden. Bei der Wiedergabe einer Vollspuraufzeichnung müssen dann die Wiedergabespannungen an den Anschlüssen rot und weiß in Phase sein.

4.5.2. Einsatz und Umgang

Der Einsatz eines bestimmten Magnetkopftyps richtet sich nach der zu realisierenden Technik (mono – stereo, Spule – Kassette), der zu erreichenden Qualität (3-Kopfsystem), der Spieldauer bei vorgegebenem Bandvorrat (Transportgeschwindigkeit – Spaltweite) und dem verwendeten Bandmaterial (Bandoberfläche – Abriebfestigkeit der Köpfe).
Im allgemeinen sollte der Abrieb so gering wie möglich sein. Durch großen Abrieb verschlechtert sich der Band-Kopf-Kontakt (Zangsführung, Abstandsschwankungen). Die elektrischen Eigenschaften des Kopfes verändern sich, so daß ein häufiges Einmessen der Elektronik (Frequenzgang bzw. Vormagnetisierung, Aufzeichnungsstrom) notwendig ist. Bei nicht gleichmäßigem Abschliff von Spur und Schalenmaterial kann das Magnetband mechanisch beschädigt werden. Einen geringen und gleichmäßigen Abrieb weisen Glasferrit- und Sendustköpfe auf. Sie sollten für Chrombänder verwendet werden. Bei diesen Bändern oder hohen Transportgeschwindigkeiten $\geq$ 190,5 mm/s sind Löschköpfe mit Doppelspalt sinnvoll.
Sollen Magnetköpfe bestehender Geräte durch andere Typen er-

Tabelle 4.1. Typenbezeichnung der Magnetköpfe nach TGL 33985

Positions-Nr. in der Bezeichnung der MK	Klassifizierung und Kurzbezeichnung der MK		
	Klassifizierungsmerkmal	Art des Merkmals	Kurzbezeichnung
1	Funktion des MK[1)]	Löschen	L
		Aufzeichnen	A
		Wiedergeben	W
		Aufzeichnen oder Wiedergeben	X
		Aufzeichnen, Wiedergeben und Löschen	Y
		Vormagnetisieren	V
2	Anzahl der voneinander unabhängigen Magnetsysteme je Funktion	ein System	1
		zwei Systeme	2
3	Einsatzmöglichkeiten	Bandbreite	
		3,81 mm Vollspur	I
		Halbspur	K
		Viertelspur	
		6,25 mm Vollspur	V
		Halbspur	H
		Viertelspur	Q
		12,7 mm	W
		25,4 mm	Z
		50,8 mm	G
		sonstige Bandbreite	B
		Bild-Ton-Synchronisierung, Pilotverfahren	P

4	Typnummer wird vom VEB GMH, Entwicklungsstelle, ausgegeben		1, 2, 3 usw.
5	Zusatzinformation	wird für die Bezeichnung einer vom Normalfall abweichenden Ausführung benutzt	L Langlebensdauer-MK H MK mit Halterung P MK mit Plastgehäuse k MK ohne Aufsteckkappe s MK ohne Schraube

[1] eine Kombination der Kurzzeichen ist möglich

Anwendungsbeispiel:

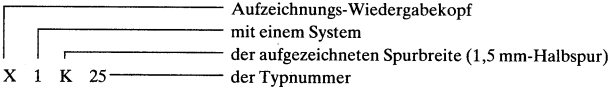


Tabelle 4.2. Typenbezeichnung der Magnetköpfe nach RGW-Standard

Positions-Nr. in der Bezeichnung der MK	Klassifizierung und Kurzbezeichnung der MK		
	Klassifizierungsmerkmal	Art des Merkmals	Kurzbezeichnung
1	Breite des Magnetbands	6,23 mm	6
		3,81 mm	3
2	Funktion des MK	Aufzeichnen	A
		Wiedergeben	B
		Löschen	C
		Aufzeichnen oder Wiedergeben	D
		Aufzeichnen und Wiedergeben (Verbundkopf)	K
		Löschen und Aufzeichnen (Verbundkopf)	M
		Löschen, Aufzeichnen und Wiedergeben (Verbundkopf)	X
3	maximale Anzahl der gleichzeitig arbeitenden Magnetsysteme	Einspurkopf	1
		Zweispurkopf	2

4	maximale Anzahl der Magnetspuren in beiden Bandrichtungen	Zweispuraufzeichnung Vierspuraufzeichnung	2 4
5	Herstellerland	VRB UVR DDR Kuba MVR VRP UdSSR ČSSR SRR	B H D K M P S C R
6	Varianten-Nr. des Herstellerlandes	jede Variante (Typ) eine neue Nummer	1, 2, 3 usw.

Anwendungsbeispiel:

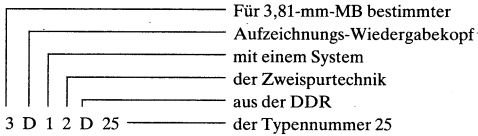
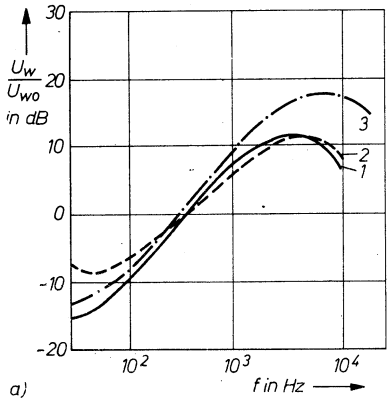


Tabelle 4.3. Kenngrößen von Löschköpfen aus dem VEB *Goldpfeil Magnetkopfwerk* Hartmannsdorf (Auszug)

Typ		L in mH f = 80 kHz	P_v in mW	R_c in Ω	w_s in µm	h_s in mm	I_{ln} in mA, D_l in dB f = 80 kHz
L2H18	LK mit Ferritkern, MB 6, stereo oder 2 Halbspur, Studiotechnik	1,7 ± 10% (I = 60 mA)	≈ 130	3	2×80	2,5	60 70 v = 381 mm/s; Cr/ORWO
L1K23	LK mit Ferritkern, MB 4	300 ± 30% (I = 80 mA)	< 30	1,5	100		80 60
L1K30	LK mit Ferritkern, MB 4, Doppelspalt	300 ± 30% (I = 100 mA)	≤ 60	≈ 1	2×50	≈2	60 65 (Fe_2O_3-Band) 105 (CrO_2-Band)

Tabelle 4.4. Kenngrößen von Aufnahme- und Wiedergabeköpfen aus dem VEB *Goldpfeil Magnetkopfwerk* Hartmannsdorf (Auszug)

Typ		L in mH, f = 1 kHz I = 0,1 mA *I = 1 mA*	R_v in Ω	R_c in Ω	w_s in µm	h_s in mm	$ü_z$ in pVs/µA f = 1 kHz *f = 333 Hz*	$ü_w$ in µV/pVs
W2H9	WK, MB 6, stereo oder 2 Halbspur, Studiotechnik	75 ± 5%	40	15	6	2,2		3,1
W2H41	WK, MB 6, stereo, 0,75 mm Trennspur, Studiotechnik	75 ± 5%	≤ 80	≈ 45	6,5 ± 1	2,75		2
A2H9	AK, MB 6, stereo, oder 2 Halbspur, Studiotechnik	*7 ± 0,5%*	*5,3*	3,5	12	2,2	0,7	
A2H41	AK, MB 6, stereo, 0,75 mm Trennspur, Studiotechnik	*7 ± 0,5%*	*10*	≈ 7	12 ± 2	2,75	≥1	
X1K25	A/WK, MB 4, mono, *in Langlebensdauerausführung (P)*	55^{+10}_{-20}%	70 ± 20%	≈ 48	1,6	1,5	*≥1,2*	*> 0,8*
X2C23	A/WK, MB 4, stereo	100 ± 20%	220	≈ 190	1,7 ± 0,1	0,6	*≥1,5*	*> 1,2*



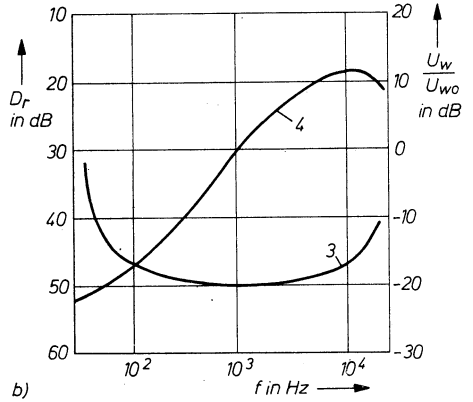
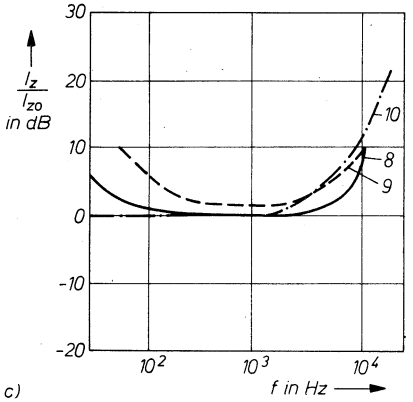


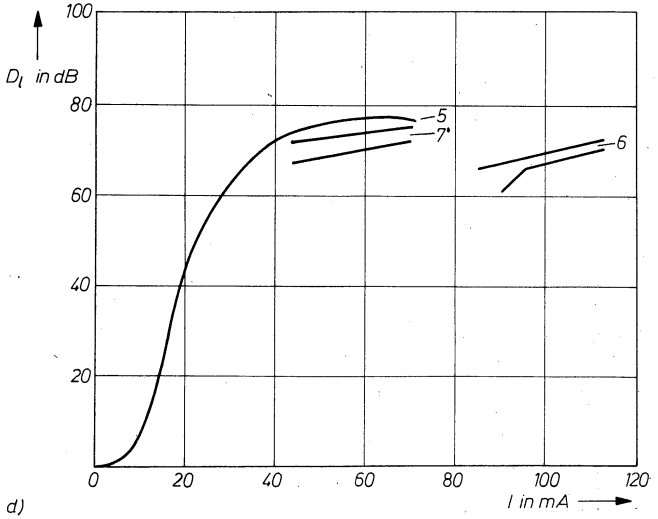
Bild 4.11 Magnetkopfkennlinien nach Unterlagen des VEB Goldpfeil Magnetkopfwerk Hartmannsdorf,

a – Wiedergabeleerlaufspannung $U_w = U_w(f)$ des Frequenzgangteils des jeweiligen Bezugsbands,
Kurve 1 – X1K25 (0 dB = 35 μV, Zeitkonstanten 3180/120 μs),
Kurve 2 – X2C23 (0 dB = 23 μV, Zeitkonstanten 1590/120 μs),
Kurve 3 – W2H9 (0 dB = 180 μV, Zeitkonstante 70 μs, v = 190,5 mm/s),

b – Nebenspurdämpfung (Messung selektiv) und Leerlaufspannung des W2H9 (0 dB = 230 μV, Zeitkonstante 50 μs, v = 381 mm/s),



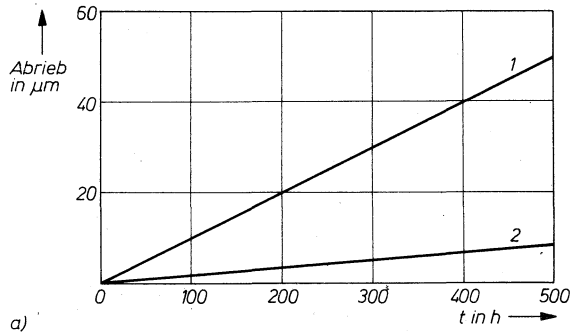
c)



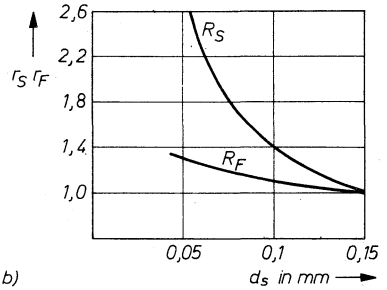
d)

c – Frequenzgang des Aufzeichnungsstroms $I = I(f)$,
Kurve 8 – X1K25 ($I_{vn} \approx 0{,}6$ mA, Zeitkonstanten 3180/120 μs, Leerteil DIN-Bezugsband 45513/6),
Kurve 9 – X2C23 ($I_v = 0{,}3$ mA, Zeitkonstanten 1590/120 μs, Leerteil DIN-Bezugsband 45513/6),
Kurve 10 – A2H9 ($I_v = 5{,}5$ mA, Zeitkonstante 70 μs, $v = 190{,}5$ mm/s, CR/ORWO),

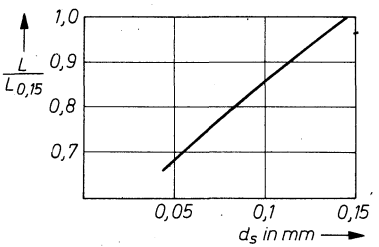
d – Löschdämpfung,
Kurve 5 – L2H18 – CR/ORWO,
Kurve 6 – L1K30 – ORWO-Chromband,
Kurve 7 – L1K30 – ORWO K 60 LN


Abrieb
in µm
60
40
20
0
100
200
300
400
500
t in h
1
2

a)


r_S r_F
2,6
2,2
1,8
1,4
1,0
R_S
R_F
0,05
0,1
0,15
d_s in mm

b)


$\frac{L}{L_{0,15}}$
1,0
0,9
0,8
0,7
0,05
0,1
0,15
d_s in mm

c)

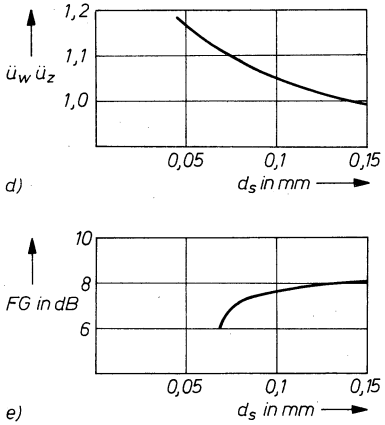


Bild 4.12 Einfluß des Abriebs auf die Magnetkopfeigenschaften;

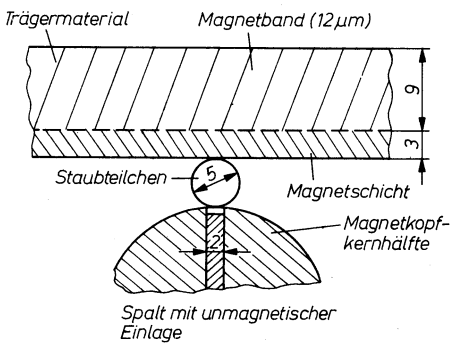
a – Abrieb verschiedener Kernmaterialien in Abhängigkeit von der Betriebszeit eines Kassettenkopfes mit $h_b = 3{,}81$ mm bei $v = 47{,}6$ mm/s,
Kurve 1 – MK X 21 – Halbspur mit Muniperm,
Kurve 2 – MK X 21 – Halbspur mit FeNi 80 MoNbTi-Kern,

b – Abhängigkeit R_S und R_F eines Kassettenkopfes vom Abrieb,
$r_s = R_s/R_{s0,15}$, $r_F = R_F/R_{F0,15}$,

c – Abhängigkeit der Induktivität vom Abrieb $L \sim 1/R_S + R_F$,

d – Abhängigkeit der Wiedergabespannung und des Aufzeichnungsfaktors vom Abrieb, $\ddot{u}_w \sim R_S/R_S + R_F$, $\ddot{u}_z \sim R_S/R_S + R_F$,

e – Einfluß auf den Frequenzgang, FG $= 20 \lg U_{w10k}/U_{w333}$



Alle Maße in µm = 1/1000 mm !

Bild 4.13 Staubteilchen im BKS der Kompakt-Kassettentechnik

setzt werden, so ist zu beachten, daß die mechanischen Eigenschaften gleich oder besser sind. Die elektrischen Eigenschaften sollten ebenfalls gleich sein oder nur geringe Abweichungen aufweisen. Ist das nicht der Fall, ist es erforderlich, die Anpassung des Kopfes an die Entzerrer (Rauschen, Pegel) und gegebenenfalls die Entzerrung selbst sowie die Verstärkungs- und Vormagnetisierungseinstellung zu ändern.
Die wichtigsten Kenngrößen eines Magnetkopfes sind in den Typenblättern der Magnetkopfhersteller aufgeführt. Die Kenngrößen einiger vom VEB *Goldpfeil Magnetkopfwerk* Hartmannsdorf produzierten Magnetköpfe zeigen die Tabellen 4.3. und 4.4. Die Übertragungskurven dieser Köpfe sind aus Bild 4.11 ersichtlich.
Da sich die Übertragungseigenschaften eines Speichers mit dem Verschleiß der Magnetköpfe ändern (Bild 4.12), ist es erforderlich, alle Einflußgrößen, die die Lebensdauer der Magnetköpfe neben dem «normalen» Betriebsverschleiß (Bandandruck) zusätzlich herabsetzen, zu vermeiden [18]. Ebenfalls ist ein sachgemäßer Umgang beim Transport und bei der Lagerung erforderlich, um Veränderungen der Eigenschaften des Kopfes auszuschließen.
Das notwendige Reinigen der Kopfspiegelzone (Bild 4.13) sollte je nach Verunreinigungsgrad etwa alle 30 bis 60 Betriebsstunden erfolgen. Zur Reinigung kann ein weicher fusselfreier Lappen, der bei besonders starker Verschmutzung mit reinem Alkohol getränkt sein kann, verwendet werden. Bei anderen Flüssigkeiten, insbesondere benzolhaltigem Spiritus, Verdünnung u.ä., ist Vorsicht geboten, da diese Plasteteile angreifen können.
Für Kassettengeräte, bei denen der Kopf nicht so leicht zugänglich ist, stellt die Industrie Reinigungsbestecke und Reinigungskassetten bereit. Der Durchlauf einer Reinigungskassette bewirkt bei den handelsüblichen Köpfen einen Abrieb, der einer Betriebslaufdauer von 40 bis 60 Stunden entspricht. Sie sollten daher nur bei speziellen abriebfesten Köpfen (Langlebensdauerausführung – siehe Typenbezeichnung in der Bedienungsanleitung bzw. im Stromlaufplan der jeweiligen Geräte) zur Reinigung eingesetzt werden. Bei der Reinigung mit dem «Servicestab» ist es zweckmäßig, einen zweiten Stab (Spiegel) zum gleichzeitigen Betrachten des Reinigungsbereichs zu benutzen.
Durch «harte» Stöße während der Lagerung, des Transports, aber auch des Betriebs kann sich die Permeabilität des magnetischen Kreises, und damit die Induktivität, des Kopfes verändern. Der

Kopfspiegel sollte vor mechanischen Beschädigungen durch eine Abschirmhaube geschützt sein. Beim Anlöten der Verbindungsleitungen an die Anschlußstifte ist eine zu große Wärmezufuhr zu vermeiden, wodurch mechanische Verformungen und Beschädigungen der Isolation der Spule entstehen könnten. Die in den Typenblättern angegebene Umgebungstemperatur sollte unbedingt eingehalten werden.

Zur Auswahl der Magnetköpfe bezüglich der Funktionen *Aufzeichnung, Wiedergabe, Löschen* entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeit siehe Abschnitt 5.

5. Band-Kopf-Betrieb

5.1. Bandfluß – Erzeugung und Abtastung

Von praktischem Interesse für den Amateur zur Realisierung eines Magnetbandgeräts sind weniger die theoretischen Grundlagen, die zum heutigen international sehr hohen Entwicklungsstand der Grundelemente *Magnetband, Magnetkopf* und *Transportwerk* geführt haben, als vielmehr die Kenntnis zur zweckmäßigen Auswahl dieser Elemente. An den Grundelementen mit der Einschränkung der Tonmechanik kann der Amateur kaum etwas ändern. Sie sind ebenso wie der standardisierte Bandflußverlauf als gegeben und als Bezug anzusehen. Freiraum besteht in der Wahl der Ausführungsform des Band-Kopf-Systems (entsprechend den Beschaffungsmöglichkeiten). Die Ausführungsform und die speziell eingesetzten Grundelemente sollten unter dem Gesichtspunkt einer optimalen Anpassung Band-Kopf-Elektronik entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeit gewählt werden.

Zum Veranschaulichen des nachfolgend in stark komprimierter und vereinfachter Form dargestellten Speichervorgangs kann das im Bild 1.5 gezeigte Schema eines Band-Kopf-Systems mit einem Arbeitsspalt für die Funktion Aufzeichnung und Vormagnetisierung, einem für die Wiedergabe und einem Doppelspalt für das Löschen dienen.

Ein durch die Wicklung w des Aufzeichnungskopfes fließender Wechselstrom i erzeugt eine magnetische Urspannung (Flußantriebsgröße) V_0, die durch den magnetisch gut leitenden Kern den magnetischen Fluß ϕ treibt. Den magnetischen Kreis bildet das magnetisch gut leitende Kernmaterial, unterbrochen durch den vorderen und hinteren Spaltwiderstand R_s und R_h bzw. überbrückt durch die magnetische Schicht des Bandes.

Das aus dem Kopfspalt austretende Magnetfeld H_s bewirkt auf dem vorbeibewegten Magnetband die Magnetisierung M. Dabei werden die in den Magnetiten enthaltenen Molekularmagneten erregt und entlang der Feldlinien ausgerichtet (Bild 1.6). Diese Ausrichtung bleibt auch nach Abschalten des Erregerfeldes wegen der sich in der magnetischen Schicht gebildeten magnetischen Kreise

weitgehend erhalten. Je eine Gruppe von Kreisen mit gleicher Magnetisierungsrichtung entsprechen einer Halbperiode bzw. der halben Wellenlänge des Erregerstroms. Die Wellenlänge λ ist der Quotient aus der Frequenz f des Aufzeichnungsstroms und der Transportgeschwindigkeit v des Bandes.

Wesentlichen Einfluß auf die Aufzeichnungseigenschaften eines Band-Kopf-Systems übt die Wechselfeld-«Vormagnetisierung» aus. Dazu wird dem Aufzeichnungsstrom ein hochfrequenter Vormagnetisierungsstrom I_v (f_v ca. $5 f_{zo}$) überlagert.

- Die Remanenz der Magnetschicht B_r wächst mit steigendem Aufzeichnungsstrom. Das Vormagnetisierungsfeld H_{sv} bewirkt eine Linearisierung (Verringerung der nichtlinearen Verzerrungen) der Remanenzkurve und steigert die Empfindlichkeit auch für die unerwünschte Störspannung.
- Maximale Steilheit der Kurve ergibt sich bei einem Strom $I_v = I_{v0}$, dem Bezugsvormagnetisierungsstrom (Grenzstrom).
- Er ist für kurze Wellenlängen des Aufzeichnungsstroms geringer als für große Wellenlängen, $\lambda_1 < \lambda_2$ und $I_{v0\lambda_1} < I_{v0\lambda_2}$.
- Die Remanenz sinkt mit größerwerdender Frequenz (Flußdämpfung). Bei großem Vormagnetisierungsstrom ist dieser Abfall stärker.
- Der Rauschspannungsabstand ist mit $I_v \approx I_{v0}$ am größten (Bild 5.1 a).
- Die Verzerrungen einer Aufzeichnung mit großen Wellenlängen sind bei I_{v0} am größten (Bild 5.1 b).

Das Löschen erfolgt ebenfalls mit einem HF-Strom. Die magnetische Schicht wird dazu bis in die Sättigung magnetisiert. Nach Abklingen des Feldes und Verlassen der Löschfeldzone wird der ma-

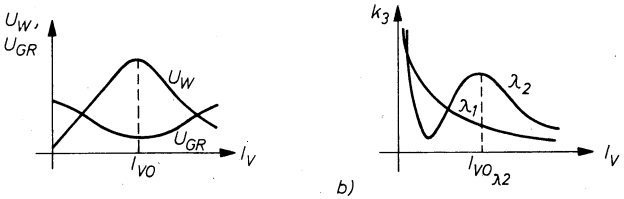


Bild 5.1 Einfluß des Vormagnetisierungsstroms;
a – U_w, $U_{GR} = f(I_v)$,
b – $k_3 = k_s(I_v)$

gnetisch neutrale Zustand erreicht. Dazu muß die Feldrichtung genügend oft wechseln. In der Literatur werden mindestens fünf Wechsel vorausgesetzt. Daraus folgt für $v = 47{,}6$ mm/s und einer Ausdehnung des Feldes von $\Delta x = 50\,\mu$m eine Löschfrequenz von $f_l \approx 5$ kHz. Da in den meisten Geräten der Löschgenerator auch den Vormagnetisierungsstrom liefert, ist für die Löschfrequenz die notwendige Frequenz des Vormagnetisierungsstroms $f_v \approx 5\ f_{zo}$ entscheidend. Das Maß für die erzielte Löschung einer Aufzeichnung ist die Löschdämpfung D_l. Mit Doppelspaltlöschköpfen sind ≥ 5 dB höhere Werte als mit Einspaltlöschköpfen zu erreichen.
Bei der Wiedergabe wird in der Spule des Magnetkopfes eine Spannung induziert, welche durch die Bewegung des Aufzeichnungsträgers entsteht.
Diese Spannung U_w ist abhängig von der Anzahl der Windungen w und der Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses $d\phi/dt$.

5.1.1. Frequenzumfang – Wellen- und frequenzabhängige Verluste

Bei vorgegebener Arbeitsgeschwindigkeit und zu speicherndem Frequenzumfang läßt sich die vom Band-Kopf-System zu verarbeitende Wellenlänge bestimmen. In der Kassettentechnik bedeutet das z. B., daß Wellenlängen von etwa 1200 bis 3,8 μm zum Erreichen des HiFi-Standards aufgezeichnet und wiedergegeben werden müssen. Das grundlegende Verhältnis der Arbeitsgeschwindigkeit zur Frequenz bestimmt das magnetisierbare Volumen und damit den Bandfluß (Bild 5.2). Der Bandfluß ist eine Funktion der Wellenlänge. Diese charakteristische Größe dient zur Beschrei-

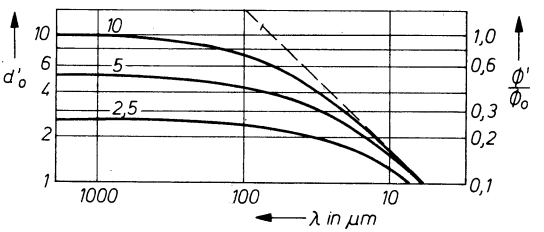


Bild 5.2 Bandflußverlauf in Abhängigkeit von der Schichtdicke $d'_o = f(\Omega)$

bung des Speicherzustands in der Magnetschicht und zur Ermittlung der Verluste bei der Anpassung des Magnetkopfes an das Magnetband entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeit.
Für große Wellenlängen $> 1\,\text{mm}$ besteht Proportionalität zwischen dem Bandfluß und der Magnetschichtdicke d_0 eines Bandtyps.

$$\phi_o = B_r \, h_B \, d_o \tag{48}$$

Mit geringerwerdender Wellenlänge ist nur ein Teil der Gesamtschichtdicke der wirksamen Schichtdicke d dem Fluß proportional.

$$\phi = f(\lambda) = \phi_o \frac{d}{d_o} = \phi_o \frac{1 - \exp - 2\pi d_o/\lambda}{2\pi d_o/\lambda} \tag{49}$$

Die Flußdämpfung bei einer kleinen Wellenlänge zum Fluß bei großen Wellenlängen kennzeichnet den Frequenzgang eines Magnetbands.

$$D_{\phi B} = 20 \lg \frac{\phi}{\phi_o} \quad (\text{in dB}) \tag{50}$$

Band- und Kopfspiegel-Oberflächenrauhigkeit bewirken Verluste entsprechend des Abstands l_a zwischen dem Magnetband und dem Magnetkopf. Eine Näherung für die Abstandsverluste ergibt sich aus Gl. (51), wobei die Wellenlänge im Verhältnis zur Schichtdicke groß ist.

$$D_{la} = -20 \lg e^{-2\pi l_a/\lambda} \approx 54{,}6\, l_a/\lambda \quad (\text{in dB}) \tag{51}$$

$$D_\phi = 20 \lg \frac{(e^{-2\pi l_a/\lambda})\ (1 - e^{-2\pi d_o/\lambda})}{2\ d_o/\lambda} \quad (\text{in dB}) \tag{52}$$

Die Gleichung (52) berücksichtigt den Einfluß der Schichtdicke d_0 und den Abstand l_a auf den Bandflußverlauf im praktischen Betrieb ($w_s \to 0$).
Neben den Schichtdicken- und Abstandsverlusten treten bei Wellenlängen in der Größenordnung der Spaltweite des sich über dem Spalt schließenden Flusses, der dann als Kernfluß verlorengeht, Verluste auf. Diese Spaltverluste lassen sich in s_1 entsprechend $\omega > w_s'$ (Gl.53) und s_2 entsprechend $\omega < w_s'$ (Gl. 54) unterscheiden.

$$s_1 \approx \frac{\sin(\pi w_s'/\lambda)}{w_s'/\lambda} \tag{53}$$

$$s_2 \approx 0{,}7 \frac{\sin(\pi w_s/\omega + \pi/6)}{(\pi w_s/\omega)^{2/3}} \tag{54}$$

Die effektive Spaltweite w_s' ist in Abhängigkeit von der Permeabilität der Magnetschicht größer als die geometrische Arbeitsspaltweite w_s (Gl. 55). Nach Gl. 55 mit einer relativen Anfangspermeabilität von $\mu_r = 1{,}35$ gilt Gl. (38)

$$w_s' \approx w_s \cdot \sqrt{\frac{1{,}5\,\mu_r + 1}{\mu_r + 1}} \tag{55}$$

$$\hat{U}_w = 2\pi f w \hat{\phi}_o \tag{56}$$

Die Wiedergabespannung (Gl. 56) bestimmt der in den Kern eintretende Bandfluß, wobei Schichtdicke, Band-Kopf-Abstand, magnetischer Widerstand R_F und R_s, die Arbeitsspaltweite sowie die Geometrie des Kopfspiegels und die magnetische Leitfähigkeit des Kernmaterials (Verluste R_v) Einfluß auf den Verlauf der Leerlaufwiedergabespannung ausüben. Es treten Abweichungen im unteren und oberen Frequenzbereich vom idealen Induktionsverlauf auf. Nur in einem relativ kleinen Bereich ist die Wiedergabespannung der Frequenz proportional (ω-Gang). Die Wirksamkeit des vom Band in den Kern gelangenden Flusses ist vom Verhältnis R_F/R_s abhängig.

$$U_w = \phi_o \omega w \sigma_s \sigma_\varphi, \tag{57}$$

$$U_w = \phi_o \omega w \sigma_s, \tag{58}$$

$$U_w = \phi_o \omega w \sigma_s s_1 \tag{59}$$

Die Wiedergabespannung aus dem Bandfluß ist mit Gl. (57) für den Bereich II im Bild 5.3 gegeben. Im Bereich I (Gl.58) der großen Wellenlängen ist die Spiegelfunktion wirksam. Sie wird bestimmt durch die Geometrie der Kopfspiegelzone und die Permeabilität des Kerns eines Magnetkopfes. Im Bereich III (Gl. 59) übt die effektive Spaltweite Einfluß aus. Die dem Punkt der Wiedergabespannungskurve zugehörige Frequenz (Wellenlänge), an dem die Wiedergabespannung abzusinken beginnt, wird mit charakteristischer Frequenz (Wellenlänge) bezeichnet. Durch Verdopplung bzw. Halbierung der Arbeitsgeschwindigkeit steigt bzw, sinkt die Wiedergabefrequenz einer Aufzeichnung mit bestimmter Wellenlänge um eine Oktave. Dieses Verhalten macht erforderlich, daß bei geringen Arbeitsgeschwindigkeiten Frequenzen größer der

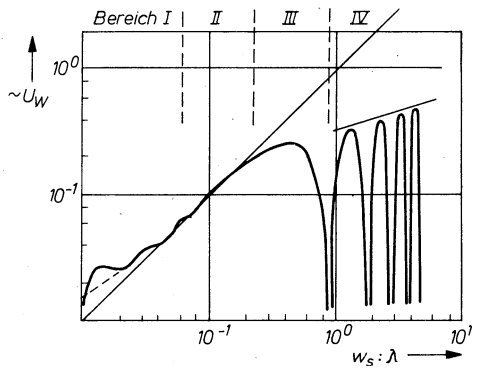


Bild 5.3 Wiedergabespannungsverlauf;
Bereich I – Große Wellenlänge und Wirksamkeit der Spiegelfunktionen $U_w \sim \sigma_\varphi$,
Bereich II – Proportionalität zur Frequenz $U_w \sim \omega$,
Bereich III – Einfluß der effektiven Spaltweite $U_w \sim s_1\,(w_s, \lambda)$,
Bereich IV – Einbrüche im Frequenzgang $U_w \sim s_2\,(w_s, \lambda)$

charakteristischen Frequenz im Wiedergabeentzerrer angehoben werden müssen. Ebenfalls verschiebt sich die Leerlaufspannungskurve bei Verdopplung bzw. Halbierung der Arbeitsgeschwindigkeit um ±6 dB entlang der idealen Induktionslinie. Der Bereich IV (Gl. 60) ist durch Einbrüche im Frequenzbereich gekennzeichnet. Ihn als Arbeitsbereich zu wählen ist wegen der auftretenden Nullstellen und des hohen Entzerreraufwands nicht zweckmäßig.

$$U_w = \phi_o \omega w \sigma_s s_2 \tag{60}$$

Für die Auswahl eines Wiedergabemagnetkopfes mit optimaler Spaltweite für eine bestimmte Transportgeschwindigkeit gilt die Näherung Gl. (61). Für Aufzeichnungsköpfe ist die maximale Spaltweite (geringster Aufzeichnungsstrom) nach Gl. (62) zu wählen. Optimale Wiedergabeeigenschaften sind für A/W-Köpfe ausschlaggebend. Der Aufzeichnungsstrom liegt dann etwas höher als mit $w_{s\,max}$.

$$w_{s\,opt} \approx (0{,}2 \text{ bis } 0{,}35)\,\frac{v}{f_o} \tag{61}$$

$$w_{s\,max} \approx 2\,w_{s\,opt} \tag{62}$$

5.1.2. Dynamik – Rauschen und Verzerrungen

Maß für die Dynamik eines Magnettongeräts ist der Störspannungsabstand. Dazu ist die auftretende Störspannung auf die Nennausgangsspannung zu beziehen. Der Fremdspannungsabstand über Band ($a_{füB}$) entspricht dem Verhältnis der Wiedergabespannung (U_n, 1 kHz) einer Eigenaufzeichnung bei maximal zulässigem Klirrfaktor zu der Wiedergabespannung ($U_{füB}$) einer Eigenaufzeichnung ohne Signal. Der Frequenzbereich des Spannungsmessers ist durch einen Hochpaß mit $f_g = 22{,}4$ Hz und einem Tiefpaß mit $f_g = 22{,}4$ kHz begrenzt. Der Dämpfungsverlauf entspricht TGL 200-7755/02.
Die Fremdspannung, gemessen ohne magnetisiertes Band (Durchlauf eines Kennbands), ergibt dann den Fremdspannungsabstand (a_f) bei Wiedergabe.

$$a_{füB} = 20 \lg \frac{U_n}{U_{füB}} \tag{63}$$

Der Geräuschspannungsabstand (a_g) entspricht dem Verhältnis der Wiedergabespannung (U_n, $f = 1$ kHz) einer Eigenaufzeichnung mit maximalem Klirrfaktor zu der Wiedergabespannung (U_g) einer Eigenaufzeichnung ohne Signal. Dem Spannungsmesser ist ein Bewertungsfilter A nach TGL RGW 1351 vorgeschaltet.

$$a_g = 20 \lg \frac{U_n}{U_g} \tag{64}$$

Einfluß auf den Signalrauschabstand haben im einzelnen:

Magnetband

- Ruherauschen: Rauschen des Magnetbands, das zur Ursache die statistische Verteilung der Einbereichsteilchen der magnetisch wirksamen Schicht hat. Das Ruherauschen liegt bei modernen Bändern > 60 dB unter dem Bezugspegel (Bild 5.4 I).
- Aussteuerbarkeit: Die Aussteuerungsgrenze ist bei der Sättigungsremanenz B_{rs} erreicht. Die Verzerrungen sind dann sehr hoch. Der Sättigungsfluß liegt je nach Bandtyp um 10 bis 20 dB über dem Bezugsfluß. Der Nennfluß ($k_3 = 3\,\%, 5\,\%$) liegt etwa bei -5 bis $+10$ dB.

Magnetkopf

- Einfluß der Spalthöhe: Durch Verringerung der Spalthöhe ge-

genüber einer maximalen Spalthöhe $h_s = h_B$ ergibt sich eine relative Erhöhung der Rauschspannung ($U_r \sim \sqrt{h_s}$, $U_w \sim h_s$), bezogen auf den gleichen Nutzfluß. Mit Gl. (65) beträgt die Verringerung des Signal-Rausch-Abstands in der Kassettentechnik gegenüber der Studiovollspurtechnik $\Delta L \approx 10\,\text{dB}$.

$$\Delta P_R = 20 \lg \sqrt{\frac{h_{s0}}{h_s}} \tag{65}$$

h_{s0} – Bezugsspalthöhe

- Aussteuerbarkeit: Mit Magnetköpfen geringer Aussteuerungsfähigkeit kann der Nennfluß nicht erreicht werden. Dies wird um so kritischer, je kleiner die Aufzeichnungsempfindlichkeit eines Kopfes und desto größer die Koerzitivfeldstärke des Bandes ist. Abhilfe schafft ein Magnetkopf mit hoher Permeabilität, der mit w_{smax} und Scherungsspalt für die Funktion *Aufzeichnung* optimal dimensioniert ist.

Einfluß des Band-Kopf-Betriebs

- Betriebsrauschen: Rauschen, das durch Einwirkung des Vormagnetisierungsfeldes hervorgerufen wird (I_v, $I_z = 0$, Bild 5.4 II). Das Maß ist der Betriebsgeräuschspannungsabstand D_{BR} (Gl.13).

Gleichfeldrauschen: Rauschen, das durch Einwirkung eines Gleichfeldes von Magnetköpfen oder Bandführungsteilen auf die Magnetschicht entsteht. Remanenz der Magnetköpfe kann durch Schaltstromstöße hervorgerufen werden, ebenso durch Gleichstromanteile im Lösch- und Vormagnetisierungsstrom (Unsymmetrie). Ein Maß für die Unempfindlichkeit gegen Gleichfeldeinflüsse eines Magnetbands ist der Gleichfeldrauschabstand D_{NGR} (Bild 5.1 a).

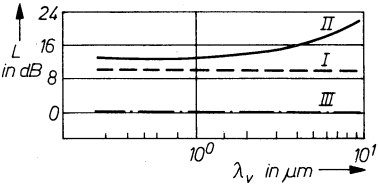


Bild 5.4
Magnetbandrauschen;
I – eines werkneuen, unbespielten Bandes
II – eines mit I_v gelöschten Bandes
III – Rauschen des Wiedergabeverstärkers

- Modulationsrauschen: Rauschen, das durch wechselnden Band-Kopf-Kontakt (Oberflächenunebenheiten, Verunreinigungen, Schichtdicken- und Bandzugschwankungen) beim A/W-Vorgang störende Modulationen verursacht.

Einfluß der Entzerrung

- Aufzeichnung: Bei der Aufzeichnung bewirkt die zur Kompensation der Verluste im Band-Kopf-System bzw. zum Erreichen des standardisierten Bandflusses (τ_1) notwendige Anhebung der hohen und tiefen Frequenzen eine Verschlechterung des Signal-Rausch-Abstands im Aufzeichnungsverzerrer.
- Wiedergabe: Wegen der Überhöhung des oberen und unteren Frequenzbereichs ergibt sich auch eine höhere Rauschspannung dieser Bereiche (Bild 5.5).
- Einfluß der Anpassung W-Kopf-Elektronik - A-Kopf siehe Abschnitt 6.

Die Dynamik und der Frequenzgang eines gegebenen Band-Kopf-Systems hängen im wesentlichen von der Wahl des Arbeitspunktes I_v/I_{v0}, d. h. der Höhe des Vormagnetisierungsstroms ab.

5.1.3. Störende Einflüsse auf den Band-Kopf-Betrieb

Kopfabrieb siehe Abschnitt 4.5.2.
Abstandsverluste siehe Abschnitt 5.1.1.

Spaltschiefstellung

Durch die Schiefstellung des Arbeitsspalts (Bild 4.8 c) erscheint die Spaltweite w_s auf $h_r \cdot \tan\beta = w_s''$ erweitert (w_s'' – scheinbare Spaltweite). Die Wiedergabespannung wird dann in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der Spurbreite h_r und vom auftretenden

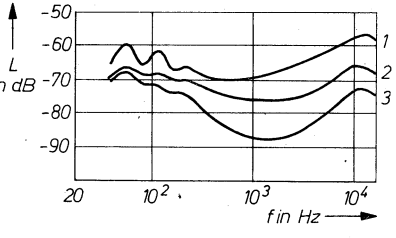


Bild 5.5
Rauschspektrum gelöschter Magnetbänder;
1 – Einfluß des Wechselfeldes I_v, $I_z = 0$
2 – Magnetband mit Löschdrossel gelöscht
3 – Rauschen des Wiedergabeverstärkers bei ruhendem Magnetband

Winkel β zwischen Aufzeichnungs- und Wiedergabespalt geschwächt.

$$U_w = f(\beta) = U_w \cdot s_s(\lambda, h_r, \beta) \text{ mit } s_s \approx \frac{\sin h_r \tan\beta/\lambda}{h_r \tan\beta/\lambda} \quad (66)$$

Bei Stereoaufzeichnung bewirkt die Spaltschiefstellung (Bild 4.8) eine Phasendifferenz (Gl. 67) mit einer Laufzeitdifferenz (GL. 68)

$$\Delta\varphi = 360 \cdot \Delta s f/v \quad (67)$$

$$\Delta t = \Delta s/v \text{ mit } \Delta s = l_r \cdot \tan\beta \quad (68)$$

Der Phasenfehler läßt sich mit einem Oszillograph (Phasenfehler der x-, y-Verstärker $\leq 1°$) ermitteln, indem die beiden Kanäle dem x- und y-Eingang zugeordnet werden. Es entsteht eine sogenannte Lissajous-Figur (Bild 4.11). Der Phasenfehler läßt sich dann bestimmen (Gl. 47).

Dropouts

Sie sind als Impulsausfall bei Unterschreiten der Ansprechschwelle ($\geq 0{,}5\ \hat{U}_w$) der Verstärker definiert (TGL 15552/4). Es wird nach flüchtigen und totalen Dropouts unterschieden. Totale Dropouts entstehen durch in die Schicht fest eingelagerte Verunreinigungen bzw. Fehlstellen (Löcher – fehlendes magnetisierbares Material). Flüchtige Dropouts entstehen durch Verunreinigungen zwischen Magnetkopf und -band und Band-Kopf-Abstandsschwankungen (nicht konstanter Bandzug). Sie können durch Reinigen der Kopfzone und der Bänder beseitigt bzw. verhindert werden.

Kopiereffekt

Er wird durch das Streufeld einer Aufzeichnung auf die Nachbarmagnetbandwindungen erzeugt. Es entsteht ein Vor- bzw. Nachecho. Die Intensität der Kopie ist von der Frequenz bzw. Wellenlänge der Aufzeichnung, den magnetischen Eigenschaften der Schicht (H_c), deren Dicke (d_0), dem Abstand zur Nachbarschicht (Trägerdicke d_b), den mechanischen Beanspruchungen, der Temperatur und der Einwirkungsdauer abhängig.

Beseitigen lassen sich diese Echos durch mehrmaliges Umspulen vor der Wiedergabe oder dadurch, daß das Magnetband in entgegengesetzter Richtung umgespult gelagert wird (ist in vollem Umfang nur bei einer Aufzeichnung in eine Richtung möglich). Echos

lassen sich auch durch ein geringes Wechselfeld eines zusätzlichen «Echolöschkopfes» beseitigen.
Maß für die Kopierempfindlichkeit des Bandes ist die Kopierdämpfung D_K (Gl. 15).

Entmagnetisierungseffekt
In Abhängigkeit der Anzahl der Durchläufe eines Magnetbands auf dem Transportwerk tritt eine Verringerung der Magnetisierung (Bild 5.6) auf, die mit steigender Frequenz zunimmt (Bild 5.7)

Übersprech- oder Nebenspurdämpfung
Mit Übersprechen bezeichnet man nicht erwünschte Signalteile eines Kanals in einem anderen Kanal eines Mehrspurgeräts. Maß für das Übersprechen ist die Nebenspurdämpfung a_{sr}. Die Tabelle 5.1. enthält Beispiele für das Messen der Übersprechdämpfung über Band unter Betriebsbedingungen.
Übersprechen kann aufzeichnungsseitig zwischen mehreren Systemen eines Aufzeichnungskopfes auftreten. Die Wirkung verstärkt sich bei vorhandenem Vormagnetisierungsstrom (Bild 5.8). Ebenso entsteht durch das Übersprechen eines Aufzeichnungskopfsystems auf die einem anderen System zugeordnete Spur eine Beeinflussung.

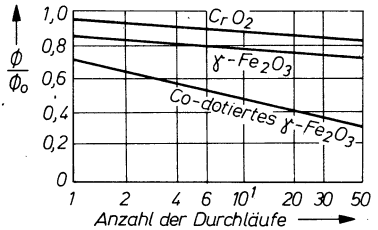


Bild 5.6
Abhängigkeit der Magnetisierung von der Anzahl der Durchläufe des Magnetbands

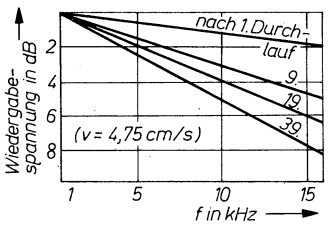


Bild 5.7
Abhängigkeit des Wiedergabepegels von der Frequenz nach unterschiedlicher Anzahl der Durchläufe des Magnetbands auf dem Transportwerk

Tabelle 5.1. Übersprechdämpfung bei Mehrspurgeräten

Betriebsart	Spur	Erzeugen des Übersprechens		Messung der Störspannung U_{st}	
		Betriebszustand	Aussteuerung	Betriebszustand	Meßvorgang[2]
Stereo- oder Mehrspuraufnahme:					
gleichzeitige Aufzeichnung	1	Aufnahme	–	Wiedergabe	Magnetband zurückspulen und
auf mehreren Spuren	2	Aufnahme	voll	–	für die Messung noch einmal
	3	Aufnahme	voll	–	durchlaufen lassen
	4	Aufnahme	voll	–	
Gegensinniger Mehrspurbetrieb:					
Die Bandspulen werden	1	Aufnahme	voll	–	Spulen nach dem Durchlauf des MB
umgedreht bzw. die Band-	2	–	–	Wiedergabe	umlegen oder Transportrichtung
transportrichtung wird	3	Aufnahme	voll	–	für die Messung umkehren
umgekehrt	4	–	–	Wiedergabe	
Playback:					
Gleichzeitige Wiedergabe	1	Aufnahme	voll	–	MB zurückspulen und für die
mehrerer Spuren, auf denen	2	–	–	Wiedergabe	Messung noch einmal
unterschiedliche Signale	3	–	–	Wiedergabe	durchlaufen lassen
aufgenommen werden	4	–	–	Wiedergabe	
Multiplayback[1]					
Aufnahme auf mindestens einer	1	Aufnahme	voll	–	Störspannung wird während
Spur bei gleichzeitiger Wiedergabe	2	–	–	–	der Aufzeichnung gemessen
der anderen Spuren	3	Wiedergabe	–	Wiedergabe	
	4	–	–	–	

[1] Wenn die Ausgangsspannung des Wiedergabekanals bei Vollaussteuerung gleich der für Vollaussteuerung erforderlichen Eingangsspannung des Aufzeichnungsverstärkers eingestellt wird, ist die ermittelte Übersprechdämpfung gleichzeitig ein Maß für die Rückkopplungssicherheit. Dabei ist der in Abhängigkeit von der Frequenz ungünstigste Wert der Übersprechdämpfung maßgebend.

[2] nach DIN 45 521

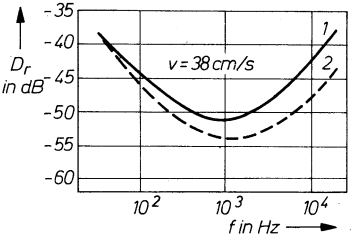


Bild 5.8 Übersprechdämpfung zweier Systeme in einem Magnetkopf mit und ohne Vormagnetisierungsstrom durch das zweite System;
1 – Aufzeichnung mit der Vormagnetisierung in der Nebenspur (Stereobetrieb),
2 – Aufzeichnung ohne Vormagnetisierung in der Nebenspur (2/2-Spur)

Bei der Wiedergabe kann ebenfalls ein Übersprechen zwischen mehreren Systemen des Wiedergabekopfes sowie von einer fremden Spur in ein Wiedergabesystem mit anderer Spurzuordnung auftreten. Eine besonders lästige Erscheinung bei Wiedergabe (auch bei Kombiköpfen) ist ein Aufmagnetisieren der Kernpakete und Abschirmkappen durch Berührung, z. B. mit magnetisierten Schraubenziehern oder durch das Um- und Abschalten der Verstärker. Die Auswirkungen sind ein stark verrauschtes und zerrissenes Klangbild vorher einwandfreier Aufzeichnungen. Dieser Fehler kann durch Entmagnetisieren des Magnetkopfes und aller sonst mit dem Band in Berührung kommenden ferromagnetischen Teile mit einer Löschdrossel beseitigt werden. Dabei ist zu beachten, daß der Stromfluß durch die Löschdrossel langsam auf Null geregelt wird oder in einem Abstand von ca. 1 m abzuschalten ist, um ein erneutes Magnetisieren durch den Abschaltstromstoß zu vermeiden. Als Löschdrossel können Schützspulen verwendet werden. Wichtig ist, daß sie zur Erzeugung eines kräftigen Streufeldes einen offenen «Eisenweg» besitzen.
Statisches Aufladen des Magnetbands an Bandführungselementen, die sich über dem Magnetkopf entladen, sind als fast regelmäßiges Knistern oder Knacken zu hören. Durch Erden der Abschirmung vor dem Kopf läßt sich die Ladung in den meisten Fällen ohne Beeinträchtigung der Wiedergabe abführen. Bei zu trockener Lagerung des Magnetbands kann sich dieses ebenfalls aufladen, was durch Auflegen eines feuchten (!) Lappens verhindert

wird. Elektroakustische Aufladungen tragen auch zur Staubablagerung des Bandabriebs am Kopf bei. Magnetköpfe und Bandführungselemente sind vom Staub frei zu halten. Dazu ist ein regelmäßiges Reinigen der Kopf- und Bandlaufzone notwendig!

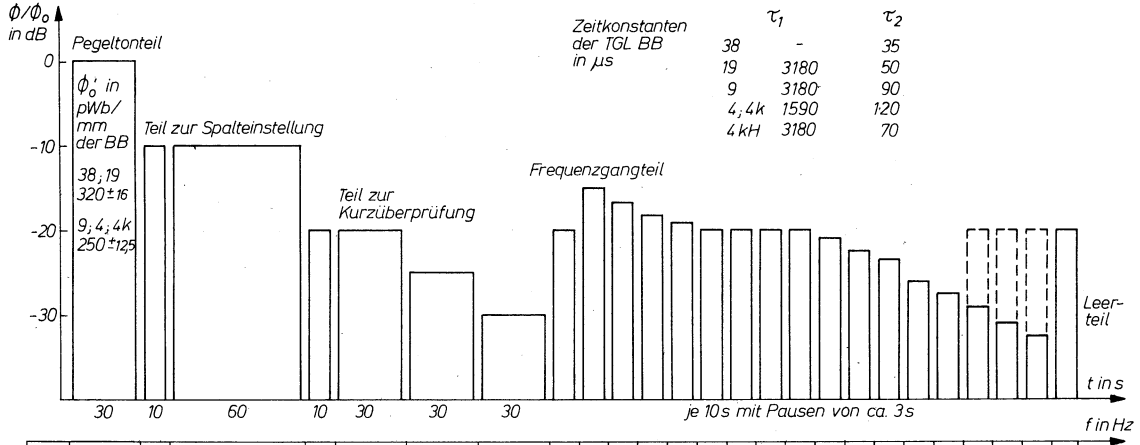
5.2. Meßtechnik am Band-Kopf-System

5.2.1. Bezugsbänder

Da die Einflußgrößen auf den Bandfluß – Dicke und Eigenschaften der Schicht, Konstuktion der Köpfe, Größe des Aufzeichnungs- und Vormagnetisierungsstroms, der Band-Kopf-Kontakt usw. – kaum zu reproduzieren sind, wurden nicht die Eigenschaften der Geräte, sondern die Aufzeichnung auf dem Band nach Frequenzabhängigkeit, Pegel und Verzerrungen auf Bezugsmagnetbändern standardisiert. Erst dadurch ist ein Austausch von Bändern möglich.
Bezugsbänder können zur Einstellung und Kontrolle von Magnetbandgeräten, der Festlegung der A/W-Ver- bzw. Entzerrung sowie zur Ermittlung der elektroakustischen Eigenschaften von Magnetbändern und -köpfen dienen. Sie bestehen aus mehreren Teilaufzeichnungen (Bild 5.9) mit definierten elektroakustischen Eigenschaften. Die Aufzeichnungen erstrecken sich gleichmäßig über die gesamte Breite des Bandes (Vollspur). Unterteilt sind die Bezugsbänder nach der Breite des Magnetbands und der Arbeitsgeschwindigkeit.
Bezugsbandteile sind:

Pegeltonteil
Der Pegeltonteil besitzt eine Aufzeichnung mit Bezugsfrequenz, die dem genormten Bezugsfluß entspricht. Er ergibt bei Wiedergabe mit Nenngeschwindigkeit den Bezugspegel und dient zur Einstellung der Verstärkung des Wiedergabekanals. Der Effektivwert des Kurzschlußbandflusses auf Bezugsbändern nach TGL 20130 ist aus Bild 5.9 ersichtlich.

Teil zur Spalteinstellung
Dieser Teil enthält eine Aufzeichnung der Bezugsfrequenz und einer höheren Frequenz (8; 10 kHz) mit einem Pegel, der etwa 10 dB unter dem Bezugspegel liegt. Er dient zur Einstellung des Spaltes



38	1k	1k	10k	1k	31,5	8k	14k	1k	31,5	40	63	125	250	500	1k	2k	4k	6,3k	8k	10k	12,5 k	14k	16k	18k	1k
19	1k	1k	10k	-	-	-	-	1k																1k	-
9	315	315	10k	-	-	-	-	315															315	-	-
4	315	315	6,3k	-	-	-	-	315														315	-	-	-

Bild 5.9 Einteilung, Zeitkonstanten und Bezugsflüsse von Bezugsbändern

des Wiedergabekopfes senkrecht zur Bandlängsachse sowie zur überschlägigen Ermittlung des Frequenzgangs. OIRT-Bezugsbänder enthalten noch zwei Aufzeichnungen mit entgegengesetzter definierter Schräglage. Der Spalt ist dann richtig eingestellt, wenn sich bei der Wiedergabe der gleiche Pegelabfall ergibt. Der Aufzeichnungsmagnetkopf ist nach dem Spalt des Wiedergabemagnetkopfes zu taumeln.

Frequenzgangteil

Der Pegel dieses Teils liegt etwa 20 dB unter dem Bezugspegel. Er dient der Ermittlung und Einstellung des Amplitudenfrequenzgangs des Wiedergabekanals. Dazu sind entsprechend TGL 0-45-401 Einzelfrequenzen mit deren Ansage aufgezeichnet. Die Pegelfrequenz (315 Hz nach TGL) beträgt auf DIN-Bezugsbändern 333 Hz.

Der Kurzschlußbandflußverlauf entspricht dem Kurvenverlauf der Zeitkonstanten τ_1 in μs eines RC-Glieds in Reihenschaltung, wel-

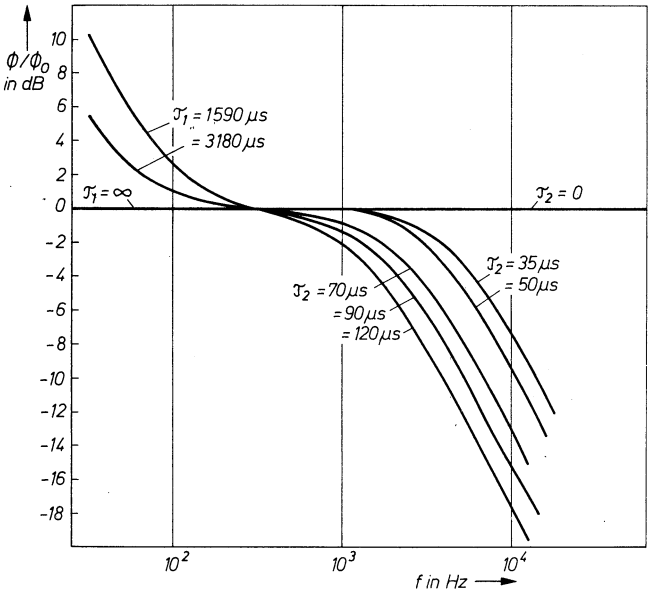


Bild 5.10 Bandflußverlauf des Frequenzgangteils von Bezugsbändern

cher zu tiefen Frequenzen hin zunimmt und dem Kurvenverlauf der Zeitkonstanten τ_2 in μs eines RC-Glieds in Parallelschaltung, der zu hohen Frequenzen hin abnimmt (Bild 5.10). Der Bandfluß nimmt mit kleinen Zeitkonstanten zu. Der maximal mögliche Fluß und sein Verlauf in Abhängigkeit von der Wellenlänge wird durch die Magnetschichtdicke des Bandes bestimmt (Gl. 49). Eine Näherung dafür ist

$$\frac{\phi}{\phi_o} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\, d_c}{\omega}\right)^2}} \text{ mit } \frac{2\pi d_o}{\lambda} = \omega \frac{d_o}{v} = \omega\tau_2, \tag{69}$$

wobei τ_2 der Parallelschaltung eines RC-Glieds und dem Verhältnis der Schichtdicke zur Arbeitsgeschwindigkeit entspricht

$$\frac{d_o}{v} = R_p C_p = \tau_2 \tag{70}$$

$$\ddot{U} = 20 \lg \ddot{u}_{1/2} = 10 \lg \ddot{u}_1^2 - 10 \lg 1/\ddot{u}_2^2$$

mit

$$\ddot{u}_{1/2} = \frac{1}{\omega\tau_1} \sqrt{\frac{1 + \omega^2\tau_1^2}{1 + \omega^2\tau_2^2}}$$

und

$$\ddot{u}_1 = \sqrt{1 \frac{1}{\omega^2\tau_1^2}}$$

$$1/\ddot{u}_2 = \sqrt{1 + \omega^2\tau_2^2} \tag{71}$$

Mit der Normung des Bandflusses ist festgelegt, welcher Anteil der Gesamtentzerrung in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Köpfe und Bänder im Wiedergabeentzerrer und welcher im Aufzeichnungsverzerrer realisiert werden muß.

Teil ohne Aufzeichnung

Der Leerteil des Bezugsbands für eine bestimmte Arbeitsgeschwindigkeit entspricht in seinen elektroakustischen Eigenschaften den entsprechenden Vergleichsbändern nach TGL 15552/02. Er dient zur Einstellung des Aufzeichnungskanals. Weist das verwendete Magnetband andere Eigenschaften als der Leerteil des Bezugsbands auf, so erfolgt die entgültige Einstellung mit diesem

Band. Weiter dient er als Bezug für die Angabe der relativen Werte der elektroakustischen Eigenschaften eines zu prüfenden Bandtyps (siehe Abschnitt 3.2.). Die Aufzeichnungs- und Löscheigenschaften eines Magnetkopfes lassen sich ebenfalls mit diesem Teil ermitteln. Für die Wiedergabeeigenschaften läßt sich der Frequenz- und Pegelteil verwenden (siehe Abschnitt 4.3.).
Für den Umgang mit Bezugsbändern gilt in noch stärkerem Maße

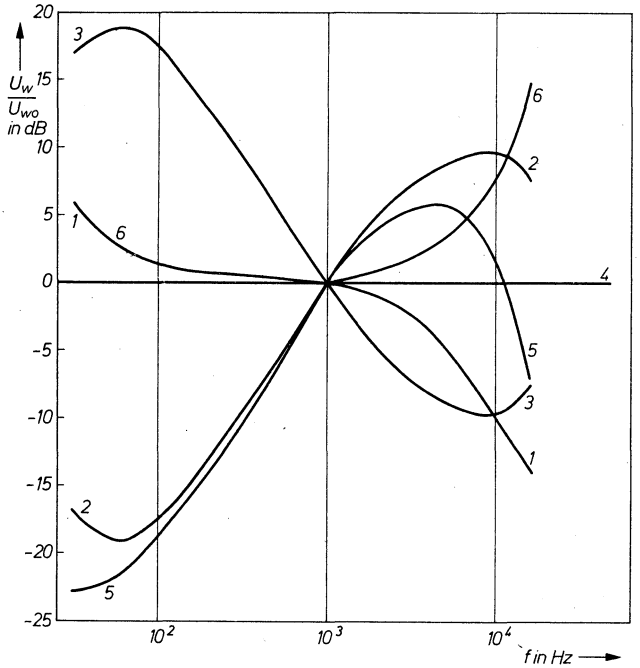


Bild 5.11 Kurven zur Ermittlung der Aufzeichnungs- und Wiedergabeentzerrung
Kurve 1: Kurzschlußbandflußverlauf des BB 19 $\tau_1 = 3180\,\mu s$, $\tau_2 = 50\,\mu s$
Kurve 2: Leerlaufwiedergabespannung des W2H9 vom BB 19
Kurve 3: Erforderlicher Verstärkungsverlauf des Wiedergabeentzerrers
Kurve 4: Linearer Verlauf 0 dB = 220 μV
Kurve 5: Leerlaufwiedergabespannung einer Eigenaufzeichnung mit konstantem Aufzeichnungsstrom −20 dB unter dem Bezugspegel auf dem Bandtyp 114 LH beim Arbeitspunkt +2 dB
Kurve 6: Erforderlicher Verstärkungsverlauf des Aufzeichnungsverzerrers für A2H9

das im Abschnitt 3.5. Gesagte. Um eventuellen mechanischen Verformungen entgegenzuwirken, sollte man Bezugsbänder nur in den Zwischenräumen (Kennband) der einzelnen Teile stoppen und starten.

5.2.2. Ermittlung der A/W-Entzerrung

Bild 5.11 zeigt die Teilschritte zur Ermittlung der Aufzeichnungs- und Wiedergabeentzerrung mit dem TGL-Bezugsband 19. Als Band-Kopf-System sollen der W2H9 und der A2H9 sowie das Magnetband Typ 114 LH für eine Arbeitsgeschwindigkeit von $v = 190{,}5$ mm/s zur Anwendung kommen.
Die Wiedergabeentzerrung, und damit der Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers (Kurve 3), läßt sich aus der Differenz der Kurven 2 und 4 ermitteln. Dazu entspricht Kurve 2 der Leerlaufspannung des Wiedergabemagnetkopfes, die beim Abspielen des Frequenzgangteils des Bezugsbands (Kurve 1) auftritt.
Zur Ermittlung der Aufzeichnungsverzerrung ist der Aufzeichnungsmagnetkopf mit einem konstanten Aufzeichnungsstrom und dem Nennvormagnetisierungsstrom zu speisen. Diese Eigenaufzeichnung (Kurve 5) kann auf dem Leerteil des Bezugsbands oder, besser gleich auf dem zur Anwendung kommenden Bandtyp, erfolgen. Den Frequenzgang des Aufzeichnungsverstärkers (Kurve 6) erhält man aus der Differenz der Kurven 2 und 5. Ebenso kann man die Eigenaufzeichnung (I_z = const.) mit einem Wiedergabeentzerrer (Verstärkungsverlauf entsprechend Kurve 3) wiedergeben, wobei die inverse Abweichnung zur Kurve 4 dann dem Aufzeichnungsverstärkungsverlauf entspricht.

5.2.3. Anfertigen eines Prüfbands entsprechend den standardisierten Bezugsbändern

Steht dem Amateur kein Bezugsband zur Verfügung, ist er gezwungen, sich dieses selbst anzufertigen, um reproduzierbare Werte seines Magnettongeräts zu erhalten. Solch ein Bezugsband kann nicht exakt die Anforderungen des Standards erfüllen. Bei Veränderungen in der eigenen Anlage (z. B. Kopfwechsel, neuer Bandtyp) ist es dennoch sehr nützlich. Es kann hinreichend genau

angefertigt werden, um auf einem Eigenbaugerät Fremdaufzeichnungen und eigene Aufzeichnungen auf fremden Geräten innerhalb des zugelassenen Toleranzfeldes wiedergeben zu können.
Die Herstellung eines eigenen Bezugsbands entsprechend dem gültigen Standard ist mit großer Sorgfalt vorzunehmen, um die Abweichungen gering zu halten. Der Fremdspannungsabstand und die Klirrdämpfung der Meßanordnung (Bild 5.12) sollten möglichst groß sein. Die verwendete Tonmechanik soll höchsten Anforderungen genügen. Das Magnetband sollte eine hohe Koerzitivfeldstärke besitzen. Die Köpfe sollen für die entsprechende Arbeitsgeschwindigkeit optimal dimensioniert sein. Für Bezugsbänder der Kassettentechnik sind gute Laufeigenschaften der Kompakt-Kassette Voraussetzung. Entsprechend den Abweichungen von diesen Forderungen sind zusätzliche Fehler zu erwarten.
Vor Beginn der Aufzeichnung der einzelnen Bezugsbandteile müssen eine richtige Bandführung (Zuordnung: Spurlage – Kopfspalt) und die Spaltstellung des Kopfes gewährleistet sein (Abschnitt 5.4.). Weiter ist die Kenntnis der Eigenschaften des Bandes und der Köpfe (Typenblätter – Messung) erforderlich.
Für die Eigenanfertigung eines Bezugsbands 4 K nach TGL 20130 wurden als Beispiel die ORWO-Kassette C 60 LN und der Magnetkopf X1K25 verwendet. Besser wäre ein Magnetkopf mit größerer Spurhöhe $h_s \geq 2{,}5$ mm als die des X1K25 mit $h_s = 1{,}5$ mm. Prinzipiell ließe sich ein Bezugsband der Kassettentechnik auch auf einem Gerät mit $h_B = 6{,}25$ mm und z. B. mit $h_s = 6{,}1$ mm herstellen, wenn es in den Möglichkeiten des Amateurs liegt, das Band nach der Aufzeichnung auf $h_B = 3{,}81$ mm zu verringern. Dies bringt zusätzliche Probleme des Schneidens des Magnetbands mit sich.

Ermittlung des Grenzstroms
Mit der Anordnung nach Bild 5.21 ist der bei einem Aufzeichnungsstrom mit einer Frequenz von 333 Hz ($I_{z\,333}$) der Vormagnetisierungsstrom I_v so lange zu erhöhen, bis sich ein Wiedergabespannungsmaximum ergibt. Der Aufzeichnungsstrom soll dabei etwa 1/10 des Wertes vom Vormagnetisierungsstrom (f_v ca. 80 kHz) aufweisen. Der so erhaltene Grenzstrom (I_{v0} ca. 0,6 mA – Richtwert) ist bei allen weiteren Aufzeichnungen beizubehalten.
Der Aufzeichnungsstrombedarf für den effektiven Kurzschlußbandfluß je mm Bandbreite bei 333 Hz ($\phi_0 = 250$ pWb/

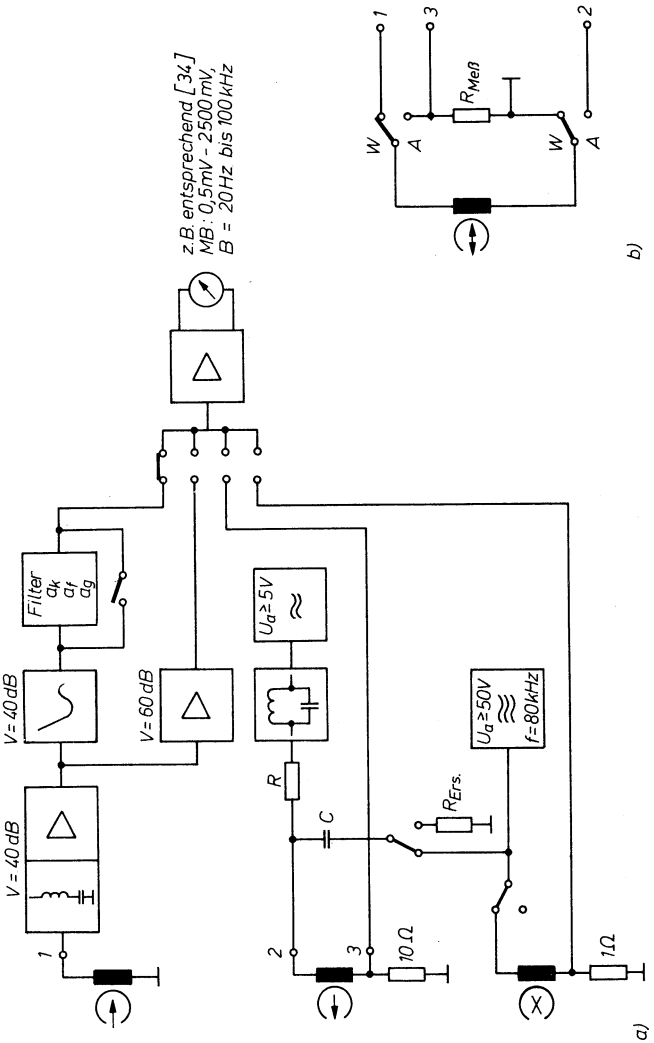


Bild 5.12 Prinzip einer Meßanordnung zur Ermittlung der Band-Kopf-System-Kenngrößen. Die über den Meßwiderständen stehende Spannung dient der Einstellung von I_z, I_v und I_i. R_{ers} bildet bei der Einstellung von I_z den Innenwiderstand des Vormagnetisierungsgenerators nach

mm ± 5 %) errechnet sich mit dem von Magnetkopfherstellern angegebenen Aufzeichnungsfaktor ($\ddot{u}_z$ = 1,2 pWb/μA) und Gl. (46) zu $i_{z0} \approx 0{,}3$ mA.
Der mit diesem Strom erzeugte Fluß ist entsprechend den Ausführungen des Abschnitts 5.2.3. zu überprüfen und der Aufzeichnungsstrom gegebenenfalls danach zu korrigieren. Für das Aufzeichnen des Frequenzgangteils muß die Wiedergabekurve des genormten Bandflusses entsprechend der Zeitkonstanten τ_1 = 1590 μs und τ_2 = 120 μs des Kopfes bekannt sein. Sie kann den Typenblättern der Magnetkopfhersteller entnommen werden. Besser ist es, eine Aufzeichnung mit bei allen Frequenzen konstantem I_z bei I_{v0} durchzuführen, diese dann gemäß Abschnitt 5.2. zu messen und den Strom so zu korrigieren, daß sich der remanente Bandfluß dem genormten Bandfluß unter Berücksichtigung der möglichen Verluste nähert. Die Aufzeichnung der Bezugsbandteile erfolgt gemäß Bild 5.19. Vor den einzelnen Frequenzen wie vor den Bezugsbandteilen spricht man zweckmäßigerweise deren Inhalt auf.

5.3. Meß- und Testbänder

Meß- und Testbänder sind nicht standardisiert. Nachfolgend sollen einige aus der Literatur bekannte Varianten, die verschiedene Gerätehersteller benutzen, aufgeführt werden.

5.3.1. Meßbänder zum mechanischen Band-Kopf-System

Magnetband zur Spaltjustage (Bild 5.13)
Ist die Wiedergabespannung konstant, steht der Arbeitsspalt genau senkrecht zur Transportrichtung des Bandes. Die Aufzeichnung erfolgt wechselseitig um den Winkel α versetzt.

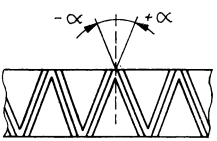


Bild 5.13
Magnetband zur Spaltjustage. Der Arbeitsspalt steht bei der Wiedergabe dann senkrecht zur Transportrichtung, wenn die Wiedergabespannung nicht mehr schwankt

Magnetband zur Spurmitteneinstellung (Bild 5.14)
Die Wiedergabespannung ist nur bei genauer Mittenlage des Wiedergabekopfes konstant.

Meßbänder zur Bestimmung der Laufwerkeigenschaften
Das Bild 5.15 zeigt eine Variante eines Magnetbands zum Messen der Arbeitsgeschwindigkeit und der Tonhöhenschwankungen. Für die Spalteinstellung läßt sich auch «weißes» Rauschen (UKW-Zwischensenderrauschen) aufzeichnen.

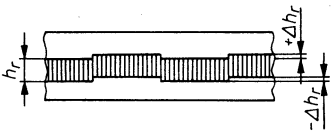


Bild 5.14
Magnetband zur Spurmitteneinstellung. Nur bei genauer Mittenlage des Wiedergabekopfs bleibt die Wiedergabespannung konstant

Mb	rot				grün	6,25
Teil		3	2	1		
Auf-zeichng.	Nachsp. Band	50 Hz	3150 Hz	Rauschen	Vorsp. Band	
Aufg.		Messung d. Band-geschwindigkeit	Best. d. Ton-höhenschw.	Spaltein-stellung		

Bild 5.15 Meßband zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften eines Transportwerks

5.3.2. Meßbänder für Mehrspurgeräte

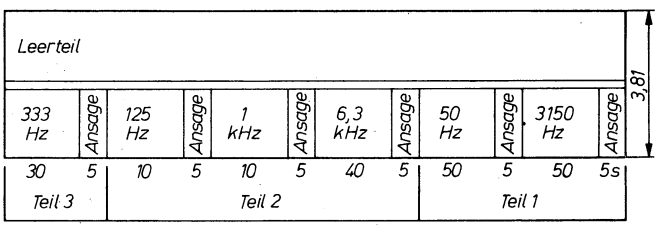


Bild 5.16 Justierband für Kompakt-Kassettengeräte;
Teil 1 – Geschwindigkeitseinstellung,
Teil 2 – Spalteinstellung und Frequenzgangteil,
Teil 3 – Pegeltonteil

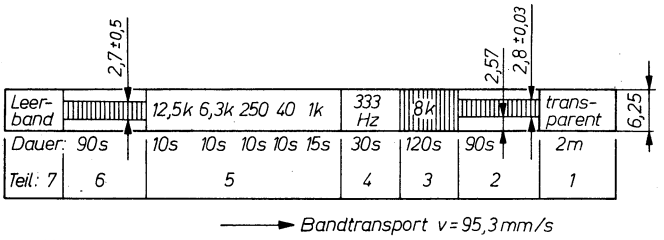


Bild 5.17 Meßband für 2-Spur- und 4-Spur-Geräte;
Teil 1 – Spurlageneinstellung bei 2-Spur-Monogeräten,
Teil 2 – Spurlageneinstellung bei 4-Spur-Geräten,
Teil 3 – Spalteinstellung,
Teil 4 – Pegeltonteil,
Teil 5 – Frequenzgangteil,
Teil 6 – Spurlageneinstellung bei 2-Spur-Stereogeräten,
Teil 7 – Leerbandteil zur Justage des Aufnahmekopfes sowie zur Überprüfung und Einstellung des Aufzeichnungskanals

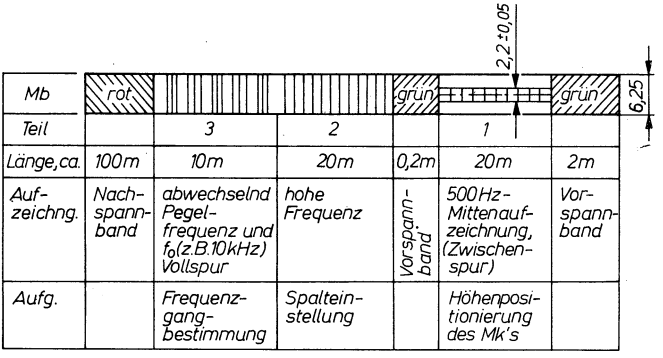


Bild 5.18 Meßband für Stereogeräte

5.3.3 Testbänder

Testbänder dienen der schnellen technischen und/oder der subjektiven Bewertung der Übertragungseigenschaften einer Magnettonanlage. Stereotestbänder zur subjektiven Beurteilung werden im Handel der DDR nicht angeboten. Der Amateur kann sich ein solches auf einem Gerät mit besten mechanischen und elektroakustischen Eigenschaften selbst herstellen. Dazu ist das Gerät (Spule oder Kassette) mit den entsprechenden Bezugs- und Meßbändern einzumessen und mit Teilen der AMIGA-Stereotestplatte *LB 107* zu bespielen. Bei der Aufzeichnung nur einer Spur (Stereokassettengerät) ist zu beachten, daß wegen der geringeren Aufzeichnungsübersprechdämpfung kein Vormagnetisierungsstrom durch das Kopfsystem der nicht zu bespielenden Spur fließt.

5.4. Meßtechnik am mechanischen Band-Kopf-System

Zur Inbetriebnahme eines Eigenbaugeräts, nach Umbau oder Reparatur, sind umfangreiche Einstell- bzw. Kontrollarbeiten zum Bestimmen von Kräften, Drehmomenten, der Transportgeschwindigkeit des Bandes, des Gleichlaufs und der Band-Kopf-Zuordnung notwendig. Dies trifft insbesondere für Geräte zu, auf denen Prüfbänder hergestellt werden sollen. Bei Einstellarbeiten an industriell gefertigten Geräten ist es zweckmäßig, die vom Hersteller herausgegebenen Serviceunterlagen mit den angegebenen gerätespezifischen Meßvorschriften zu benutzen.

5.4.1. Kraft- und Drehmomentmessung

Zum störungsfreien Bandantrieb (Arbeitsgeschwindigkeit, Rangieren) und einer einwandfreien Bandführung (konstanter Vorlauf) müssen entsprechende Kräfte auf den Antriebsmechanismus sowie auf das Band übertragen werden (Abschnitt 2.). Wichtige Kräfte für den Rangierbetrieb sind:
Aus dem Wickeldrehmoment des Aufwickels und dem Gegendrehmoment des Abwickels ergibt sich die Bandzugskraft beim Rangierbetrieb. Sie soll so hoch gewählt werden, daß ein fester und

im Zusammenhang mit der Bandführung ein sauberer Wickel entsteht. Die Bandzugskräfte in Abhängigkeit des veränderlichen Wickelradius dürfen jedoch den vom Hersteller angegebenen Wert nicht überschreiten. Dies trifft auch für die während des Start-Stopp-Betriebs auftretenden *Kraftspitzen* und für die verbleibende Bandzugskraft der Standbremse zu. Zu hohe Bandzugskräfte bewirken eine bleibende Verformung des Bandes. Zu geringe Kräfte dagegen führen zu losen Wickeln und Schlaufenbildung beim Start-Stopp-Betrieb.
Entsprechend der konstruktiven Ausführung des Transportwerks (Mehr- oder Einmotorenlaufwerke) sind die jeweiligen Brems- und Antriebsmomente so einzustellen, daß die Bandzugsspitzen ein Minimum beim vorgeschriebenen Wickelbandzug aufweisen. Des weiteren sind die *Andruckkräfte der Friktionsrollen* bzw. die *Spannkraft* der Pesen auf eine sichere Kraftübertragung hin zu kontrollieren. Es darf unter normalen Betriebsbedingungen kein Schlupf zwischen krafterzeugenden bzw. kraftaufnehmenden Elementen und den Übertragungselementen auftreten. Bei schwergängigem Antrieb ist das Drehmoment der/des Antriebsmotore(s) und die Lager zu überprüfen.
Wichtige Kräfte für den konstanten Bandlauf sind:
Die *Andruckkraft der Tonwelle* soll wegen einer sonst unnötig hohen Belastung des Antriebs nur so hoch gewählt werden, daß ein sicherer Transport des Bandes gewährleistet ist. Dabei soll die *Bandzugsdifferenz* der Aufwickel- und Abwickelseite Null sein (Schlupf). Bandzugskräfte der Aufwickelseite (Tonwelle – Aufwickel) sind für einen sauberen Wickel, die der Abwickelseite (Abwickel – Tonwelle) für den Band-Kopf-Kontakt verantwortlich.
Zur Kraftmessung lassen sich Rundfederstähle (Durchmesser von 0,2 bis 1 mm ergeben Kraftmeßbereiche von 0 bis 1,3 mN bzw. 0 bis 1 N) oder Zugfedern verwenden. Die mechanische Größe Kraft läßt sich auch mittels Dehnmeßstreifen in eine proportionale elektrische Größe (Strom oder Spannung) umwandeln (Meßbereich im linearen Teil 0 bis 4 N). Kalibrieren lassen sich die Meßeinrichtungen mit den Kräfte bzw. Drehmomente nachbildenden Wägestücken. Den Zusammenhang zwischen Kraft und Drehmoment weist folgende Gleichung aus:

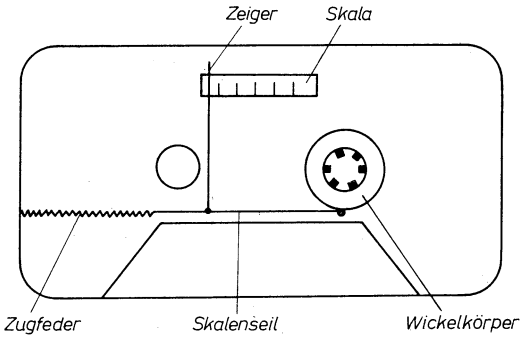


Bild 5.19 Prinzip einer Drehmoment-Prüf-Kassette

$$M_w = F_B \cdot R. \tag{72}$$

M_w – Wickeldrehmoment
F_B – Bandzugskraft
R – Wickelradius

Bild 5.19 zeigt das Prinzip einer Einrichtung zur Überprüfung der Drehmomente des Auf- bzw. Abwickelns in Kassettengeräten. Sie läßt sich ohne großen Aufwand in handelsüblichen Kassetten realisieren. Nachteile dieser einfachen Anordnung sind die relativ große Reibung des Wickelkerns und wegen des geringen Skalenwegs eine große Ableseungenauigkeit. Es ist deshalb vorteilhaft, auf eine mit Zahlenwerten geeichte Skale zu verzichten und die Bereiche 3 bis 5 mN und größer 8 mN farbig hervorzuheben. Genaue Messungen können mit Meßkassetten durchgeführt werden [5].

5.4.2. Zuordnung Magnetspur – Arbeitsspalt (Spalteinstellung)

Zur Grobeinstellung der Spurlage kann ein Meßband (MB 6) mit einem transparenten Teil (Sichtkontrolle) entsprechend Bild 5.17 verwendet werden. Kombi- oder Wiedergabeköpfe sind so einzustellen, daß das obere Kopfsystem mit der Kante des Bandes abschließt. Spezielle Aufzeichnungsköpfe und Löschköpfe sollen etwas über die Magnetbandkante herausragen.

Zur Kontrolle der aufgezeichneten Spur(en) kann auf dem Magnetband eine Aufzeichnung mit hohem Fluß und großer Wellenlänge durchgeführt werden. Auf das Band ist dann ein Tropfen Öl mit feinen Eisenschleifspänen oder Ferritstaub aufzubringen. Die in dem Öltropfen enthaltenen Eisenteilchen orientieren sich nach dem aus der Bandoberfläche austretenden Fluß, so daß die aufgezeichnete(n) Spur(en) zu sehen ist (sind).
Besonders aufwendig und langwierig ist das Justieren von Kassettenköpfen. Dazu ist eine Sichteinstellung so durchzuführen, daß der Magnetkopf etwa in der Mitte zwischen beiden Kassettenhalbschalen in die Kassette einfährt. Der Kopf ist dann in der Höhenlage zu verstellen, ohne daß sich die Höhenbandführung mit und ohne eingefahrenen Kopf (Zwangsführung durch am Kopf angebrachte Stifte) merklich ändert. Nach Senkrechtstellung des Arbeitsspalts und Messen der Pegelschwankung einer Aufzeichnung mit hoher Frequenz und unter Berücksichtigung der Gleichlaufeigenschaften können mit einem objektiven Meßverfahren Rückschlüsse auf die Bandlaufeigenschaften gezogen werden [5].
Wechselseitig mit der Kopfsystemhöheneinstellung ist wegen der Beeinflussung von Höhen- und Spaltjustierung der Spalt senkrecht zur Transportrichtung zu stellen. Die Spalteinstellung erfolgt durch Messen der Wiedergabespannung des Teils der Bezugs- oder spezieller Meßbänder mit Schrägspuraufzeichnung. Die Kopfneigung ist mit der Taumelschraube so lange zu verändern, bis sich ein Maximum der Ausgangsspannung bei minimalen Pegelschwankungen ergibt. Es ist auch möglich, nach Gehör durch Abspielen einer industriellen Aufzeichnung, z. B. Musikkassetten, den Kopfspalt nach einer maximalen Höhenwiedergabe auszurichten.
Zur Spalteinstellung des Aufzeichnungskopfes eines Drei-Kopf-Systems ist eine hohe Frequenz (10 kHz) oder weißes Rauschen aufzuzeichnen und der Spalt des Aufzeichnungskopfes so lange zu verstellen, bis sich am Ausgang des Wiedergabekanals die maximale Spannung einstellt bzw. das Rauschen spitz und hell klingt.

5.4.3. Arbeitsgeschwindigkeit

Die Arbeitsgeschwindigkeit ist über einen großen Zeitraum (im Gegensatz zur Gleichlauffehlerbestimmung) zu messen. Es wird damit die mittlere Bandgeschwindigkeit bestimmt. Dabei sind die

normalen Betriebsbedingungen einzuhalten. Alle den Bandlauf bestimmenden Elemente, wie Führungs- und Umlenkrollen bzw. -stifte, Bandzugsregelung und Wickelzüge, sind vor der Messung genau zu justieren. Der Nennbetriebsspannungsbereich ist einzuhalten. Der durch das Meßverfahren verursachte Fehler muß kleiner als der maximal zulässige Wert der Abweichung von der genormten Transportgeschwindigkeit ($\leq 1{,}2\,\%$ HiFi) sein.

Zeitmessung bei bekannter Meßstrecke auf dem Magnetband:
Es ist die Durchlaufzeit (t) einer bestimmten Bandlänge (Meßstrecke) zu messen. Die Meßstrecke soll entsprechend der genormten Transportgeschwindigkeit 100 s Laufzeit ergeben. Das Meßband, auf dem die Meßstrecke durch Abstandsmarken akustisch oder optisch gekennzeichet ist, muß möglichst längsstabil, d. h. gegen höhere Bandzugskräfte unempfindlich sein. Es sind Bänder mit einer Gesamtdicke $\geq 35\,\mu$m zu bevorzugen. Beim Ausmessen der geometrischen Länge ist das Bandstück mit einem Gewicht entsprechend der Betriebsbandzugkraft zu belasten. Meßstrecken sind am Anfang, in der Mitte und am Ende des größtmöglichen Wickels vorzusehen. Der Mittelwert aus jeweils fünf Durchlaufzeitmessungen ergibt mit Gl. (73) ein ausreichend genaues Meßergebnis (TGL 200-7096/2).

$$v = \frac{l}{t} \tag{73}$$

Der Beginn der Zeitmessung erfolgt nach einer genügend großen Anlaufzeit und ist vor dem Stoppen des Bandes zu beenden (Anlauf- und Stoppverzögerung). Zur Zeitmessung kann eine mechanische Stoppuhr (bei optischen Marken) oder eine von den akustischen Marken gestartete bzw. gestoppte elektronische Uhr verwendet werden.

Impulsmessung bei bekanntem Umfang einer Meßrolle:
Das Magnetband wird dazu um eine Meßrolle mit genau bekanntem Umfang gelegt, so daß sich entsprechend der Bandbewegung (v) eine bestimmte Drehzahl einstellt. An der Unterseite der Meßrolle können sich Bohrungen bzw. Schlitze befinden, die eine Lichtschranke unterbrechen. Ebenso kann ein Reflexkoppler realisiert werden. Aus der gewonnenen Impulsfrequenz läßt sich die Transportgeschwindigkeit errechnen.

$$V = \frac{U \cdot n}{m \cdot T_o} \tag{74}$$

U – Umfang der Meßrolle
m – Anzahl der Schlitze
n – Anzahl der Impulse
T_o – Bezugszeit, Zähldauer

Um die Meßunsicherheit klein zu halten, sollte die Zeitdauer (T_o) der Impulszählung lang sein. Gemessen wird wie bei der Durchlaufdauer eine Meßstrecke auf dem Magnetband unter Betriebsbedingungen am Anfang, in der Mitte und am Ende des größtmöglichen Wickels. Die Geschwindigkeitsabweichung in % ergibt sich aus Gl. (2).

Frequenzmessung mit einem Zählfrequenzmesser:

Als Meßfrequenz kann die der jeweiligen Pegeltonteile oder die spezieller Meßbänder dienen. Der Fehler der aufgezeichneten Frequenz auf dem Magnetband bei Wiedergabe mit Nenngeschwindigkeit soll $\leq 1\,\%$ sein. Für die Bezugsfrequenz der Bezugsbänder nach TGL 20130 und DIN 45513 ist eine Abweichung von $\leq 3\,\%$ angegeben.

Die Geschwindigkeitsabweichung wird folgendermaßen errechnet:

$$\Delta v = \frac{f - f_o}{f_o} \cdot 100 \quad [\text{in } \%] \tag{75}$$

Frequenzvergleich mit der Netzfrequenz (Toleranzbereich 48,5 (49,1) 51 Hz):

Es können die Meßbandaufzeichnungen (50 oder 100 Hz) auf einem Oszillographen mit der Netzfrequenz verglichen werden. (Synchronisation der Zeitbasis, Lissajous-Figuren).

Eine für Spulengeräte sehr einfache Methode ist das Beleuchten einer Stroboskopscheibe mit einer netzbetriebenen Lichtquelle. Da die genormten Transportgeschwindigkeiten der magnetischen Schallspeichertechnik ganzzahlige Vielfache voneinander sind, ist nur die Meßrolle mit einer Stroboskopscheibe nach Bild 5.20 erforderlich. Die Transportgeschwindigkeit entspricht genau dem Nennwert, wenn die mittlere Teilung scheinbar steht. Im vorgesehenen Toleranzbereich liegt sie bei scheinbarer Rückwärtsbewegung der inneren Teilung und scheinbarer Vorwärtsbewegung der äußeren Teilung. Der Umfang der Meßrolle beträgt 160,02 mm

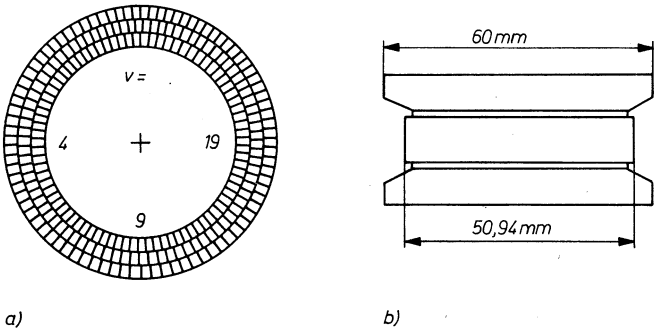


Bild 5.20 Stroboskopmessung; a – Stroboskopscheibe für eine mittlere Abweichung von $\Delta v \leq \pm 1{,}2\,\%$, b – Meßrolle

($d = 50{,}94$ mm). Es können ebenso Meßrollen mit ganzzahligem Verhältnis d verwendet werden.

5.4.4. Gleichlauf

Die Bestimmung des Gleichlauffehlers, der kurzzeitigen Abweichung von der Transportgeschwindigkeit des Bandes vom Nennwert (Mittelwert) erfolgt nach TGL 200-7756 in einem Schwankungsfrequenzbereich von 0,2 bis 300 Hz. Dazu wird der durch die Geschwindigkeitsabweichungen entstehende Frequenzhub einer Aufzeichnung von 3150 Hz (Pilotfrequenz) bestimmt und mit einem Gleichlaufschwankungsmeßgerät als Mittelwert bewertet. Die Bewertung kann bezüglich des subjektiven Verhaltens, d. h. der Empfindlichkeit des Gehörs, bei unterschiedlicher Schwankungsfrequenz erfolgen. Dazu ist beispielsweise für die Tonhöhenschwankungen im Bereich 0,5 bis 10 Hz ein selektives Filter mit der Durchlaßfrequenz 4 Hz (größte Empfindlichkeit des Gehörs für Tonschwankungen) vorgesehen. Der zeitliche Verlauf der Meßspannung wird durch das Anzeigeverhalten der Auswerteschaltung berücksichtigt. Die prinzipielle Beschreibung eines Gleichlaufschwankungsmeßgeräts für den Service enthält [5].
Wegen fehlender Gleichlaufschwankungsmeßbänder muß ein solches mit $f = 3150$ Hz, U_w etwa -10 dB, bezogen auf Vollaussteuerung, selbst angefertigt werden. Bei der Messung mit diesem Band

ist zu berücksichtigen, daß sich die Gleichlaufschwankungen während der Aufzeichnung mit denen bei der Wiedergabe entsprechend der Phasenlage vektoriell addieren. Der angezeigte Wert kann in extremen Fällen die Hälfte bzw. das Doppelte des wahren Wertes betragen. Nach TGL ist festgelegt, daß der arithmetische Mittelwert von fünf aufeinanderfolgenden Messungen (gleicher Bandabschnitt) als Nennwert anzusehen ist.
Steht kein Gleichlauffehlermeßgerät zur Verfügung, muß sich der Amateur mit einer quantitativ bewertenden Methode [19] begnügen.

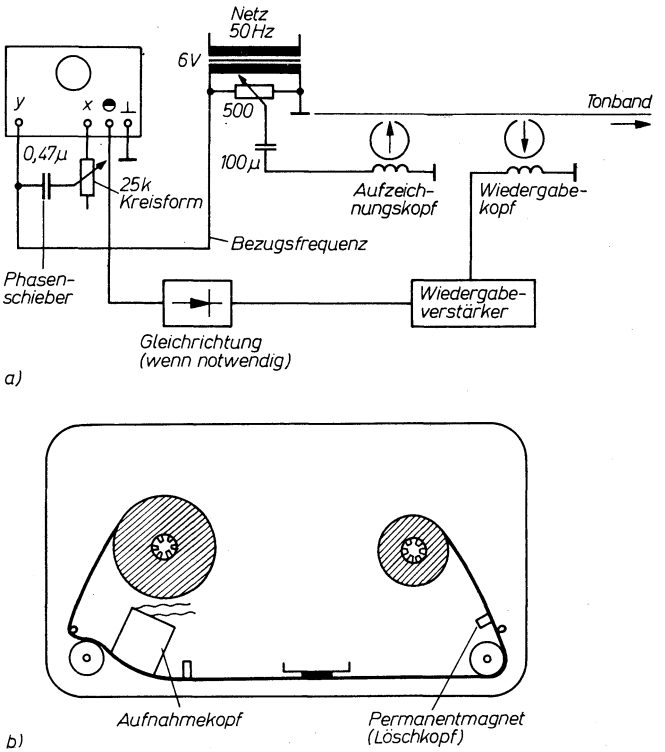


Bild 5.21 Anordnung zur Gleichlaufüberprüfung;
a – Prüfschaltung
b – Prüfkassette

Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine für den Amateur leichte Realisierungsmöglichkeit mit vorhandenen Geräten und wenig Aufwand aus. Neben der Beurteilung des Gleichlaufverhaltens ist eine genaue Geschwindigkeitskontrolle und deren Einstellung mit der Meßanordnung nach Bild 5.21 durchführbar.
Dazu ist die Vergleichsfrequenz an den y-Eingang und über einen Phasenschieber an den x-Eingang eines Oszillographen zu schalten. Das Abbild eines Wellenzugs der Bezugsfrequenz ergibt sich als Kreis. Wird die Wiedergabespannung der Meßfrequenzaufzeichnung auf den Dunkeltasteingang geschaltet, bewirkt wegen der auftretenden Phasenverschiebung zwischen Bezugs- und Meßfrequenz die Geschwindigkeitsdrift eine sich bewegende Dunkelmarke. Ist im Magnetbandgerät eine Einstellmöglichkeit vorhanden, kann damit die Drehzahl des Antriebsmotors bis zum relativen Stillstand der Dunkelmarke verstellt werden.
Gleichlaufschwankungen bewirken das Pendeln der Dunkelmarke um einen fiktiven Punkt. Der Wert des Pendelausschlags steht im direkten Zusammenhang mit der Geschwindigkeitsabweichung. Angezeigt wird jedoch der Spitzenwert der Phasenverschiebung zwischen Bezugsfrequenz und der momentanen Wiedergabefrequenz. Ein sich aus diesem Pendelausschlag ergebender Wert ist deshalb mit den erhaltenen Werten einer Messung mit Gleichlauffehlerprüfgerät nach TGL (Bildung eines bewerteten Mittelwerts der Modulationsfrequenz einer Pilotaufzeichnung) nicht vergleichbar. Aus der Pendelbewegung lassen sich aber wegen der trägheitslosen Anzeige Rückschlüsse auf die Fehlerursache ziehen. So bewirkt das «Schlagen» rotierender Teile entsprechend ihrer Drehzahl periodisches Pendeln um einen Punkt. Schlupf ist am einseitigen Auslenken (Sprünge der Dunkelmarke) zu erkennen.
Nach [19] kann ein Pendelausschlag von 1,5 mm bei einem Kreisumfang von 30 mm für DDR-Kassettengeräte (nicht HiFi-Laufwerke) als normal angesehen werden. Erfahrungswerte lassen sich durch Abhören einer Musik- bzw. Testkassette mit langsamer Klaviermusik auf Laufwerken mit unterschiedlichen Gleichlaufeigenschaften gewinnen.
Zur praktischen Realisierung siehe Bild 5.21 a. Als Aufnahmekopf kann der Löschkopf benutzt werden. Die in [19] gezeigte Variante einer Spezialkassette (Bild 5.21 b mit Aufnahmekopf, Permanentmagnet zum Löschen) ist wegen der stark veränderten Betriebsbedingungen nur zu vergleichenden Messungen geeignet.

6. Dimensionierung des Band-Kopf-Systems

Das erweiterte Band-Kopf-System umfaßt die Baugruppen zur elektrischen Anpassung an die Aufzeichnungs- und Wiedergabemagnetköpfe, der Signalver- bzw. -entzerrung und den Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator. Oder anders ausgedrückt, die minimal notwendigen Baugruppen zur analogen Signalspeicherung, wobei das aufzuzeichnende bzw. wiederzugebende Schallsignal in elektrischer Form frequenzlinear und mit einem bestimmten Pegel am Ein- und Ausgang anliegt.

6.1. Vorbetrachtungen

6.1.1. Wahl der Grundelemente

Aus der Aufgabenstellung zur Anwendung des Schallspeichers resultieren die Anforderungen an das Band-Kopf-System. Es sollen hier geeignete Band-Kopf-Systeme zur Anwendung in hochwertigen Heimtonanalgen, zur Eignung als Arbeitsmittel für Amateurfilmstudios, zur Diavertonung sowie zur Hörspielproduktion u. ä. betrachtet werden. In allen Anwendungsfällen wird eine hohe Qualität der elektroakustischen Schallspeicherung angestrebt. Dafür sind im wesentlichen verantwortlich:

die konstruktive Ausführung des Band-Kopf-Systems

- Laufwerk: Konstanz der Transportgeschwindigkeit bzw. des Gleichlaufs, der Bandzüge und der Spurlage
- Magnetkopf: optimale Spaltweite für Aufzeichnung und Wiedergabe (3-Kopf-System), Spurbreite (Rauschspannung)
- Magnetband: mechanische und geometrische Konstanz

elektroakustische Parameter

Höhenaussteuerbarkeit (Arbeitsgeschwindigkeit – Frequenzumfang), Dynamik des Bandes (Grundrauschen – Aussteuerbarkeit), Induktivität des Magnetkopfes (Anpassung an die Elektronik – Wiedergabespannung, Rauschanpassung, Aussteuerbarkeit des Aufzeichnungsverstärkers)

Wegen des recht hohen Preises von hochwertigem Bandmaterial ist im allgemeinen ein Band-Kopf-System zu wählen, das bei vorgegebener Bandlänge (Aufnahmefähigkeit der Tonmechanik – Wickeldurchmesser) eine maximale Spielzeit unter Einhaltung der elektroakustischen Anforderungen gewährleistet, was eine geringe Geschwindigkeit und hohe Spurenzahl bedingt. Eine Ausführung des Band-Kopf-Systems mit der Transportgeschwindigkeit von 95,3 mm/s als Hauptarbeitsgeschwindigkeit und in Zwei-Viertelspurtechnik ist für die Heimtontechnik zweckmäßig und hinsichtlich der elektroakustischen Parameter auch ausreichend. Für die eingangs genannte Nebenanwendung sind eine höhere Geschwindigkeit und eine größere Spurbreite sinnvoll (mechanisches Kuttern, Mehrfachüberspielung usw.). Ideal, weil ökonomisch einsetzbar, wäre ein Zweigeschwindigkeitslaufwerk mit auswechselbarem Kopfträger. In der Kompakt-Kassettentechnik sind Arbeitsgeschwindigkeit und Spurbreite vorgegeben. Hier läßt sich hinsichtlich des Aufwands für den Aufnahme- und Wiedergabekanal in Allzweckgeräte mit höchsten Anforderungen und in Wiedergabegeräte von industriellen Musikkassetten unterscheiden (analog zur Schallplattenwiedergabe, aber mit Aufzeichnungsmöglichkeit bei geringerem Qualitätsanspruch).

Für die Tonmechanik sollten industrielle Ausführungen mit geringfügigen Änderungen gegenüber Eigenbauvarianten bevorzugt werden. Sie sind zumeist billiger und sicherer als Eigenbaumechaniken. Als Änderung bei älteren Studiolaufwerken ist z. B. das Umrüsten auf die Arbeitsgeschwindigkeit 190,5 mm/s möglich, wodurch eine Erhöhung der Spielzeit und damit eine Senkung des Magnetbandpreises je Stunde Spielzeit erreicht werden. Des weiteren können sie auf Spulenaufnehmer umgerüstet und eine Umschaltmöglichkeit der Bandzüge sowie des Drehsinns der Wickelmotore kann vorgesehen werden (Bild 1.10). Die recht kompakte Tonmechanik des *BG 26* läßt sich von v = 4/9 leicht auf 9/19 umbauen. Eine weitere für den Eigenbau geeignete Tonmechanik ist die des *B 43,* die recht robust und als Dreigeschwindigkeitslaufwerk ausgeführt ist (4, 9, 19).

Ein Dreikopfsystem ist wegen der optimalen Abstimmung auf die Erfordernisse des Speichervorgangs, der technischen Ausführung der Elektronik sowie der Möglichkeit der Hinterbandkontrolle zu bevorzugen. Es besteht hier die Möglichkeit, Studiomagnetköpfe zu verwenden bzw. verschiedene Kombiköpfe so auszuwählen,

daß sich induktiv gesehen gute Verhältnisse ergeben. Im wesentlichen bleiben aber bei solchen Notlösungen nur die Vorteile der Hinterbandkontrolle und das Einsparen von mechanischen Kontakten. Eine mögliche Variante ist: X2Q15 (wenn noch verfügbar) als Wiedergabekopf und ANP 935 als Aufzeichnungskopf. Die Laufwerke der Baureihen *B 70* und *B 90* und das *BG 26* gestatten das Unterbringen von drei Köpfen.
Als Magnetbänder kommen für alle hier vorausgesetzten Anwendungsfälle nur solche mit besten elektroakustischen und der Tonmechanik entsprechenden Eigenschaften in Frage. Es stehen z. Z. die LH-Typen 114 (115), 123 sowie der Typ 116 LN für die Spulentechnik und eine CrO_2-Kassette zur Verfügung. Die Magnetbandtypen 114 (Spule) und 115 (Kernwickel) sollten vorwiegend auf Eigenbaugeräten mit Studiolaufwerken zum Einsatz kommen. Der Typ 116 läßt sich z. B. auf dem Laufwerk des *BG 26* gut einsetzen. Der Typ 123 ist für modernere Laufwerke, z. B. aus der *B40-, B70-* und *B90*-Serie von TESLA besser geeignet (auch für das neue Gerät *B115* und seine Modifikationen).
Mit der Festlegung der Arbeitsgeschwindigkeit, der Wahl des Bandtyps und der Köpfe ist das Band-Kopf-System mit den Eigenschaften von Köpfen und Bändern vorgegeben. An der Dimensionierung der einzelnen Grundelemente ist durch den Anwender nichts mehr zu ändern, so daß nur noch begrenzt, im Sinne einer Optimierung über den Arbeitspunkt des Bandes, die Gesamteigenschaften des Systems beeinflußbar sind.

6.1.2. Ermittlung der Kennwerte zur Dimensionierung des erweiterten Band-Kopf-Systems

Als Bezug hierfür dienen die Typenblätter der Magnetkopf- und Magnetbandhersteller und der der Arbeitsgeschwindigkeit entsprechende genormte Bandfluß. Nicht alle zur Dimensionierung notwendigen Kennwerte sind damit verfügbar, so daß je nach Tiefe der Vorbetrachtungen eigene Messungen am Magnetband und den Köpfen erforderlich sind. Die standardisierten Bandflußverläufe enthält Bild 5.10. Kennwerte von DDR-Magnetköpfen sind Tabelle 4.3. und Tabelle 4.4. zu entnehmen. Bild 6.1 enthält Kennlinien des ORWO-Magnetbandtyps 114 LH. Das Band-Kopf-System setzt sich aus dem Magnetbandtyp 114 LH, den Magnetköp-

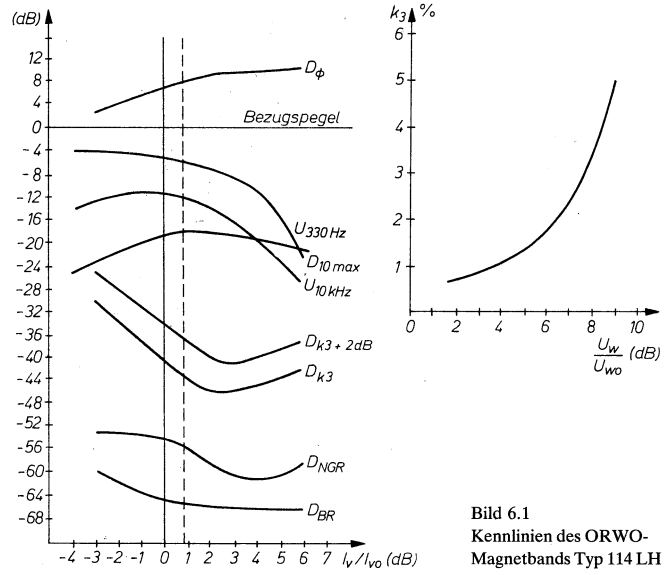


Bild 6.1
Kennlinien des ORWO-Magnetbands Typ 114 LH

fen L2H18,A2H9 und W2H9 bei der Arbeitsgeschwindigkeit $v = 190{,}5$ mm/s ($\tau_1 = 3180\ \mu s, \tau_2 = 50\ \mu s$) zusammen. Die an diesem Band-Kopf-System angestellten Vorbetrachtungen sollen als Beispiel für das prinzipielle Herangehen zur Lösung ähnlicher Aufgaben des Amateurs dienen. Prinzipiell kann man auch bei Kopftyp- bzw. Bandtypwechsel so herangehen und die am Gerät vorzunehmenden Änderungen ermitteln, was natürlich durch Messungen überprüft werden muß.

Festlegung des Arbeitspunktes und des Nennflusses

Das Optimum für den Arbeitspunkt ergibt sich, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

- maximale Aussteuerung mittlerer Frequenzen bei gleichzeitig maximaler Klirrdämpfung,
- möglichst minimale Verringerung der Höhenaussteuerbarkeit,
- kleine Differenz der Empfindlichkeit bei hohen und mittleren Frequenzen (geringe Aufzeichnungsstromanhebung),
- großer Betriebsgeräuschspannungsabstand.

Den Kennlinien Bild 6.1 ist zu entnehmen, daß diese Forderungen bei einem Arbeitspunkt von +2 dB sehr gut erfüllt werden. Sollen auf einem Gerät noch andere Bandtypen eingesetzt werden, ist durch Vergleich der Eigenschaften der Bänder untereinander entsprechend Tabelle 3.5. zu überprüfen, ob eine Umschaltung des Vormagnetisierungsstroms und des Aufzeichnungsstroms erforderlich wird.

Um eine definierte Übersteuerungssicherheit zu haben, wird eine Reserve von +6 dB bei einem maximalen Klirrfaktor von 5 % festgelegt. Der Pegel für Vollaussteuerung (+6 dB) entspricht dem von +9 dB ($k = 5\,\%$) über dem Bezugspegel des Bezugsbands 9. Der Pegel für den Nennfluß (0 dB) liegt dann bei +3 dB ($k \leq 1\,\%$). Der Nennfluß (353 pW/mm) entspricht damit etwa dem Bezugspegel des Bezugsbands 19. Weiter sind folgende Kennwerte Bild 6.1 zu entnehmen:

- Betriebsgeräuschspannungsabstand, bezogen auf Nennfluß (+3 dB) – er beträgt 66 dB + 3 dB = 69 dB. Entsprechend Gl. (65) verringert er sich für den W2H9 auf etwa 64 dB.
- Die Höhenaussteuerbarkeit liegt bei −8 dB. Bezogen auf den festgelegten Nennfluß von +3 dB, liegt sie dann bei −11 dB. Dieser Wert ist noch entsprechend den unterschiedlichen Zeitkonstanten ($\tau_2 = 90\,\mu s$, $v = 9$ und $\tau_2 = 50\,\mu s$, $v = 19$) zu korrigieren. Es ergibt sich eine Verringerung der Höhenaussteuerbarkeit von etwa −16 dB bei 20 kHz.
- Die Wiedergabespannung des W2H9 ergibt sich aus Gl. (36) und dem Nennfluß von 353 pVs/mm bei $f = 1$ kHz zu 2,4 mV bzw. 4,8 mV bei +6 dB. Für die Berechnung der Entzerrerglieder ist es zweckmäßig, nicht die Frequenz von 1 kHz als Bezug zu wählen, sondern die sich aus den Zeitkonstanten ergebende Frequenz, bei der die Übertragungsfunktion gleich 1 ist. Sie errechnet sich mit

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{\tau_1 \tau_2}} \tag{76}$$

zu 400 Hz. Die Wiedergabespannung ist dann noch entsprechend dem Kurvenverlauf der Leerlaufwiedergabespannung vom Bezugsband (siehe Bild 4.11 b) um etwa −7 bis −8 dB auf 0,963 mV zu korrigieren. Da der Bereich 400 bis 1000 Hz im linearen Teil der Kennlinien liegt, kann zur Berechnung von $U_{w\omega 0}$ auch folgende Gleichung benutzt werden:

$$U_{w\omega 0} = U_{wf0}/2\pi f_0 \sqrt{\tau_1 \tau_2}\,. \qquad (77)$$

ω_0 – Kreisfrequenz bei $\ddot{u} = 1$
f_0 – Bezugsfrequenz des Bezugsbands

Ebenfalls in Bild 4.12 sind die wiedergabeseitigen Verluste des Band-Kopf-Systems bei hohen Frequenzen enthalen. Sie ergeben sich aus der Differenz der Pegelsummen aus dem Induktionsanstieg

$$L_f = 20 \lg \frac{f}{f_0} \qquad \text{(in dB)}, \qquad (78)$$

und dem standardisierten Bandfluß bei f_0 mit dem Pegel der Wiedergabespannung des Magnetkopfes. Mit dem W2H9 ergibt sich dann bei 16 kHz, $v = 190{,}5$ mm/s, $\tau_1 = 70\ \mu$s, $L_f = 20 \lg \frac{16\ \text{kHz}}{315\ \text{Hz}}$ $= 34$ dB, $L_\phi = -17$ dB (Bild 5.10), $L_{Uw} = 15$ dB (Bild 4.11 a), ein Verlustpegel von 34 dB + (−17 dB) − 15 dB = 2 dB.
Der Vormagnetisierungsstrom des A2H9 (Tabelle 4.4.) erhöht sich von 5,5 mA um +2 dB auf 6,9 mA und der Vormagnetisierungsbedarf von 13 V auf 16 V.
Der Aufzeichnungsstrom errechnet sich mit (47) zu 0,5 mA ($\ddot{u}_z = 0{,}7$, $\Phi_n = 353$). Er muß noch wegen der besseren relativen Empfindlichkeit von 0,5 dB des Typs 114 gegenüber dem Vergleichsband und der höheren Empfindlichkeit von 0,5 dB beim Arbeitspunkt um etwa −1 dB auf $I_z = 0{,}45$ mA korrigiert werden. Für die Aufzeichnungsstromüberhöhung bei hohen Frequenzen (um 15 kHz) läßt sich unter Berücksichtigung der veränderten Bedingungen (Bandtyp, Arbeitspunkt und Zeitkonstante $\tau_2 = 50\ \mu$s statt 70 μs – Bild 4.11 c) und den Eigenschaften des Bandtyps 114 ein Wert von etwa 5 dB $\triangleq I_z = 0{,}8$ mA überschlägig ermitteln.

6.2. Grundlagen zur Dimensionierung der Elektronik

Die Erörterung der Grundlagen erfolgt im wesentlichen in Hinblick auf das in Abschnitt 6.3. vorgeschlagene Schaltungskonzept. Insbesondere wird auf die Möglichkeit des Anschaltens der Magnetköpfe mittels Übertrager bzw. symmetrischer, elektrisch aktiver Baugruppen und der passiven Ent-(Ver-)zerrung nicht einge-

gangen. Anregungen bzw. Näheres dazu enthalten [14, 17, 20] und darin angegebene Quellen.

6.2.1. Anpassung der Elektronik an das Band-Kopf-System

Wiedergabemagnetkopf

Da der Fremdspannungsabstand einer der kritischen Parameter bei der Signalspeicherung ist, erfolgt die Anpassung des Wiedergabemagnetkopfes an die Eingangsstufe für optimalen Signal-Rausch-Abstand. Dies gilt insbesondere für die Kompaktkassettentechnik mit ihren geringen Wiedergabespannungen von etwa 180 bis 300 μV in der Stereotechnik (300 bis 500 μV bei Monoköpfen). Die Anpassung ist dann optimal, wenn das Rauschen des Eingangstransistors am Ausgang, ausgedrückt durch die Rauschzahl F in bezug auf den Generatorwiderstand, ein Minimum aufweist. Bei kleiner Rauschzahl der Eingangsstufe wird erreicht, daß das Rauschen des Wiedergabekanals genügend weit unter dem des Bandes liegt und damit der Gesamtrauschabstand nicht verschlechtert wird. Um das Rauschen des Wiedergabekanals vernachlässigen zu können, muß es etwa 10 dB unter dem des Bandes liegen. Es sind damit Signal-Rausch-Abstände des Wiedergabekanals von $\geq$ 70 dB (MB 6) und $\geq$ 60 dB (MB 4) erforderlich. Die äquivalente Rauschspannung am Eingang des Wiedergabekanals (ohne Band) muß demnach $< 0{,}3\ \mu$V sein.

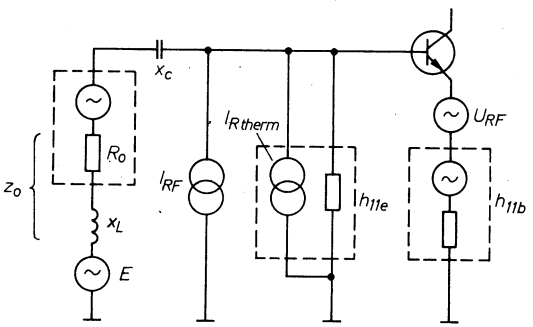


Bild 6.2 Rauschquellenersatzschaltbild einer Eingangsstufe in Emitterschaltung mit angeschlossenem Generator

Ohne auf die umfangreiche Rauschproblematik hier näher einzugehen (Grundlagen dazu [21], [22]), sollen einige Dimensionierungshinweise für rauscharme Vorstufen aufgeführt werden [23, 24, 25].
Rauschquellen (Bild 6.2) des Generators sind R_c und R_v, wobei das von diesem Widerstand erzeugte thermische Rauschen

$$U^2_{\text{Rtherm}} = 4kTBR;\ 4kT = 1{,}61 \cdot 10^{-20}\ \text{Ws} \qquad (79)$$

B – Bandbreite
aufgrund des mit der Frequenz ansteigenden Verlustwiderstands zunimmt. Von den Rauschquellen des Eingangstransistors in Emitterschaltung enthält Bild 6.2 nur die thermische Rauschquelle $h_{11e}\left(= r_e = \frac{U_T}{I_E}\right)$ und die Funkelrauschquelle der Emitterdiode (U_{RF} = (f) I_E). Ebenso tragen die zur Arbeitspunkteinstellung an der Basis liegenden Widerstände zum Rauschen bei.
Einfluß auf das Rauschverhalten der Eingangsstufe haben:
- die Schaltungstechnik der Vorstufe (Arbeitspunkt – Rauschanpassung)
- die Art der Gegenkopplung zur Wiedergabeentzerrung
- die Magnetkopfinduktivität (Generatorwiderstand – Rauschverhalten).

Als Optimum ist ein gleichmäßiges, minimales, spektrales Rauschverhalten am Ausgang des Wiedergabeentzerrers anzusehen. Beim Betrieb des Wiedergabemagnetkopfes in der Leerlaufschaltung (Bild 6.5) ist ein hoher Eingangswiderstand entsprechend Bild 6.3 und Gl. (82) erforderlich.

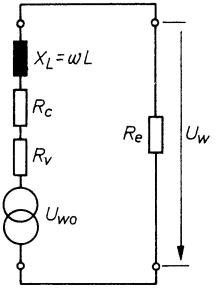


Bild 6.3
Anpassung der Wiedergabemagnetköpfe an die Elektronik (Leerlaufschaltung des Wiedergabemagnetkopfes)

$$U_w = U_{w0}\, R_e/\sqrt{R^2 + X_L^2};\; R = R_c + R_v + R_e \qquad (80, 81)$$

Da die Basisschaltung einen zu kleinen Eingangswiderstand aufweist und die Kollektorschaltung für die Rauschanpassung nicht geeignet ist, kommt nur die Emitterschaltung in Betracht. Den Arbeitspunkt wählt man für einen großen Eingangswiderstand

$$R_{ein} \approx \frac{U_T}{I_c}\beta \text{ bzw. } \approx (r_E + R_E)\,\beta,$$
$$\left(\frac{U_T}{I_c} = \frac{25\text{ mV}}{I_c} \approx r_E \text{ mit } I_E \approx I_c\right) \qquad (82)$$

und damit auch kleinen Basisstrom (beeinflußt u. a. das Funkelrauschen, $100\,\mu A \geq I_c \geq 10\,\mu A$). Nach [23], [24] gilt dann für

$$/R_{gopt}/ = \frac{2{,}5}{I_c}\beta \qquad (83)$$

und für die Magnetkopfinduktivität

$$L \approx \frac{\sqrt{/R_{gopt}/^2 - R_c^2}}{\omega}. \qquad (84)$$

Mit $I_c \approx 60\,\mu A$ und $\beta \approx 100$ erhält man $L > 0{,}5$ H bei mittleren Frequenzen. Bei kleinen Induktivitäten ist eine Anpassung durch einen Übertrager erforderlich. Beim direkten Anschluß kleiner Induktivitäten erfolgt die Rauschanpassung bei hohen Frequenzen. Dies kann wegen der notwendigen Anhebung bei hohen Frequenzen zum Ausgleich der Band-Kopf-System-Verluste (Bild 5.3) günstig sein. In der Kassettentechnik sind bei 12,5 kHz etwa 8 dB Anhebung erforderlich, wodurch sich der Signalrauschabstand ebenfalls um diesen Betrag verschlechtert. Da die Bandbreite in das Rauschen mit eingeht (Gl. 79), ist sie nicht größer als notwendig zu wählen. So hat es z. B. wenig Sinn, einen Wiedergabeentzerrer bis 18 kHz auszulegen, wenn das Gerät nur Signale bis 13 kHz speichern kann. Es wird dadurch mindestens 1 dB Signalrauschabstand verschenkt.

Der Einfluß der Art der Gegenkopplung auf das Rauschen, Reihen- bzw. Parallelgegenkopplung (Bild 6.4a bzw. 6.4b), ist aus Bild 6.4c zu ersehen. Wegen der Anhebung der tiefen Frequenzen ergibt sich mit der Reihengegenkopplung ein ausgewogenes Rauschspektrum.

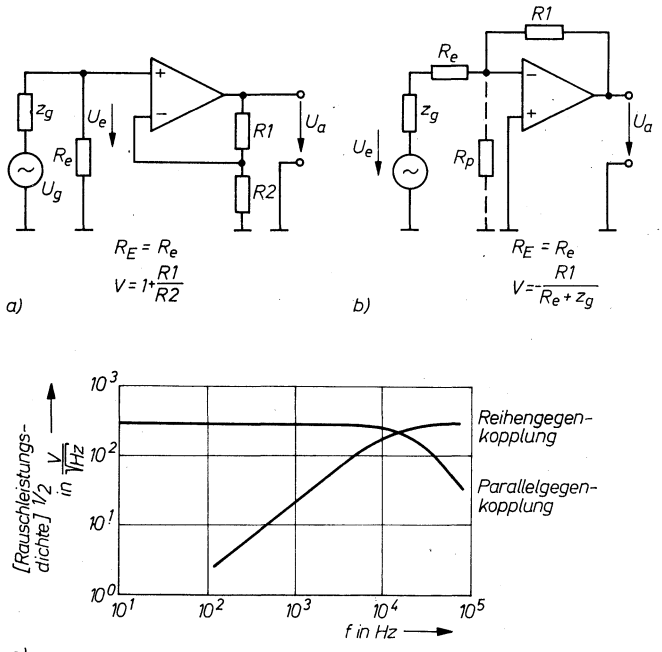
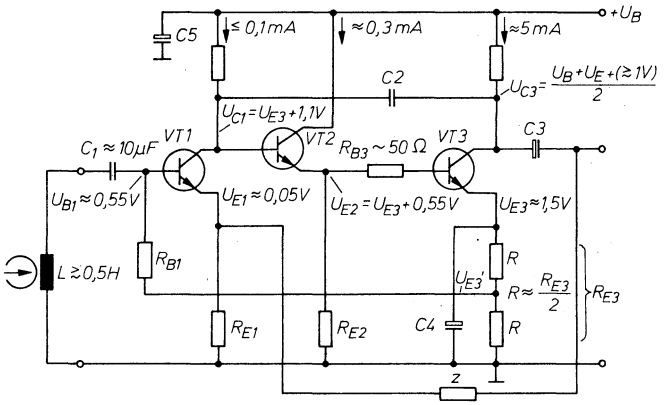


Bild 6.4 Einfluß der Gegenkopplung auf das Rauschverhalten am Eingang einer Vorstufe;
a – Reihengegenkopplung,
b – Parallelgegenkopplung,
c – Rauschleistungsdichte in Abhängigkeit der Frequenz

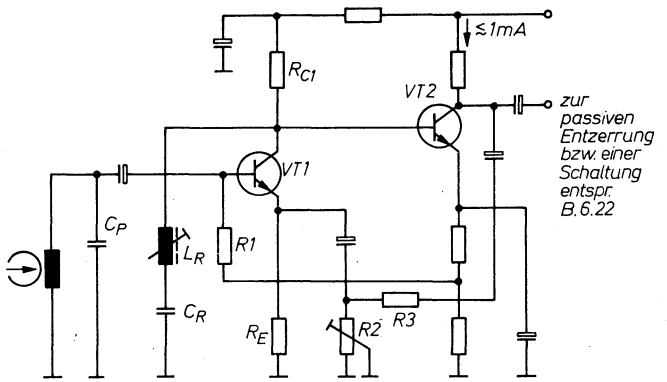
Der im Bild 6.5 angegebene dreistufige Verstärker erfüllt die Anforderungen einer rauscharmen Vorstufe. Mit den als Richtwerten angegebenen Spannungen und Strömen läßt er sich für eine vorgegebene Betriebsspannung leicht dimensionieren.
Eine als reine Anpaßstufe (ohne Entzerrung) gedachte Eingangsstufe zeigt Bild 6.6. Der am Eingang liegende Kondensator beeinflußt den frequenzabhängigen Verlauf der Wiedergabespannung (Abschnitt 6.3.). Im Resonanzfall verringert der aus L_R und C_R bestehende Reihenschwingkreis (abgestimmt auf die Vormagnetisie-



$$C_2 \leq \frac{1}{2\pi f_o (R_{E1} + r_{E1}) \frac{R_{E1} + R_g}{R_{E1}}} \qquad f_o \approx 1\,MHz \text{ bei } I_{C2} \approx 0,3\,mA$$

$$C_4 = \frac{1}{2\pi f_u R_{E3}} \qquad \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_{ein}} = \frac{1}{R_{B1}}$$

Bild 6.5 Eingangsstute mit Dimensionierungshinweisen



$$R_e \approx R1 \qquad V_u' = 1 + \frac{R3}{R2 \,||\, R_E}$$

Bild 6.6 Anpaßstufe mit Sperrfilter und Resonanzanhebung zum Ausgleich der wiedergabeseitigen Band-Kopf-System-Verluste

rungs- und Löschfrequenz) (Gl. 85) die Verstärkung von VT1 so stark, daß das Eindringen von HF in den Wiedergabekanal wirkungsvoll unterdrückt wird.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \tag{85}$$

Dieser Reihenresonanzkreis kann bei anderen Eingangsstufen auch an die Basis von VT1 gelegt werden. Damit sein Einfluß auf den oberen NF-Bereich gering ist, muß die Löschfrequenz möglichst groß sein. Mit R_2 kann unabhängig die Verstärkung eingestellt werden. Die Dimensionierung erfolgt analog den Angaben in Bild 6.5.

Aufzeichnungsmagnetkopf

Die Ankopplung des Aufzeichnungsmagnetkopfes erfolgt im Hinblick auf einen konstanten Strom durch den Magnetkopf, d. h., die Frequenzabhängigkeit des Magnetkopfwiderstands muß kompensiert werden. Eine Stromsteuerung läßt sich bei nicht genügend großem Innenwiderstand der Ausgangsstufe durch einen zusätzlichen Reihenwiderstand R_z (Bild 6.7, Bild 6.9 a) erreichen. Für relativ große Induktivitäten (A/W-Köpfe) sind entsprechend (86) auch ein relativ großer Widerstand und damit eine große Ausgangsspannung erforderlich.

$$I = I_0 \cdot 1/\sqrt{1 + \frac{X^2}{R_R^2}}\,,\ I_0 = \frac{E}{R_R}/X = 0 \tag{86}$$

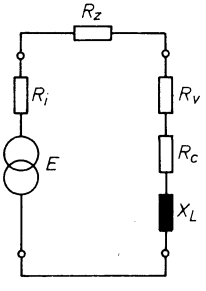


Bild 6.7
Anpassung des Aufnahmemagnetkopfes an die Elektronik (Stromsteuerung durch zusätzlichen Widerstand)

$$R_a = 1/\sqrt{\frac{1}{k^2}} - 1 \cdot X \tag{86a}$$

$$K = \frac{I}{I_0} \tag{86b}$$

$$R_a \approx 12\, f_0 L \quad \text{für } -1\,\text{dB} \tag{86c}$$

Bezüglich der Aussteuerbarkeit der Aufzeichnungsverstärkerendstufe kann das besonders bei kleinen Betriebsspannungen Probleme mit sich bringen. So sind z. B. für einen Magnetkopf $L = 80$ mH, $h_r = 1$ mm, $\ddot{u}_z = 1{,}5$ pVs/μA bei einer Aufzeichnungsstromanhebung von 15 dB – 10 dB (Verringerung der Höhenaussteuerbarkeit des Bandes bei 15 kHz) = 5 dB = $I_z \approx 0{,}38$ mA für Vollaussteuerung und ein R_z von 14 kΩ notwendig. Die Ausgangsspannung ist dann 6 V. Läßt man einen Abfall von 3 dB zu, benötigt man immer noch 4,8 V. Mit speziellen Aufzeichnungsköpfen, z. B. $L = 7$ mH, $R_z = 1{,}5$ kΩ ($f = 18$ kHz) und einer resultierenden Aufzeichnungsstromanhebung von etwa 4 bis 8 dB bei 18 kHz (Vollaussteuerung, $v = 190{,}5$ mm/s) sind etwa 4 V aufzubringen. In dem Maße, wie die Höhenaussteuerbarkeit (Bandtyp, Arbeitsgeschwindigkeit) und die Verluste des Band-Kopf-Systems groß sind, steigt die notwendige Aufzeichnungsstromanhebung und damit die Anforderung an die Aussteuerbarkeit der Ausgangsstufe. In

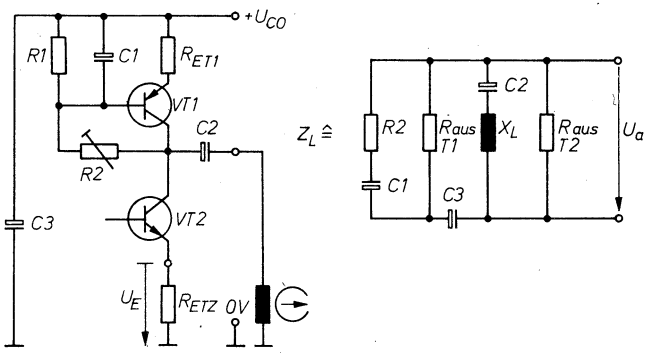
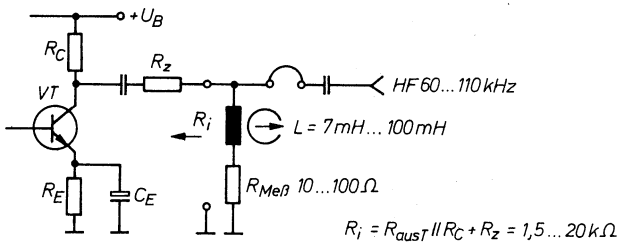


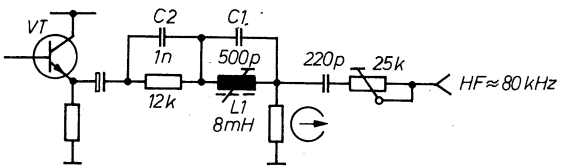
Bild 6.8 Ausgangsstufe mit hochohmigem Innenwiderstand

diesen Fällen und bei relativ großen Induktivitäten 20 bis 100 mH (je nach verfügbarer Speisespannung) ist ein Schaltungsprinzip entsprechend Bild 6.8 sinnvoll. In dieser Schaltung ist der Kollektorwiderstand durch eine Konstantstromquelle ersetzt, wodurch ein hoher Innenwiderstand mit $C1$ auch für Wechselspannungen erreicht wird. Die Verstärkung der Emitterstufe

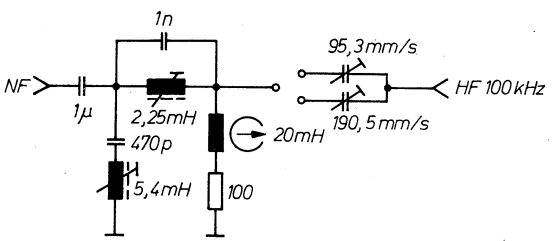
$$V_u = \frac{R_a}{r_E + R_E}, \quad R_a = R_{aus} // R_c // R_L \tag{87}$$



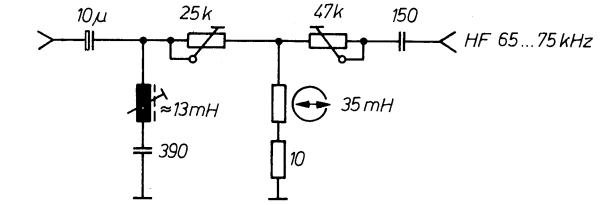
a)



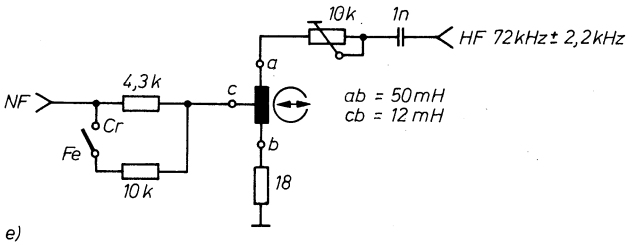
b)



c)



d)



e)

Bild 6.9 Ankoppelkreise;
a – Prinzip mit R_Z,
b – mit HF-Sperrkreis und Überbrückung von R_Z,
c – mit Parallel- und Reihenresonanzkreis für höchste Ansprüche,
d – mit Reihenschwingkreis und Einstellmöglichkeit für NF und HF,
e – Ankopplung eines Magnetkopfes mit angezapfter Wicklung

bestimmt damit im wesentlichen den frequenzabhängigen Lastwiderstand:

$$V_u = \frac{L\omega}{r_E + R_{ET2}}. \tag{88}$$

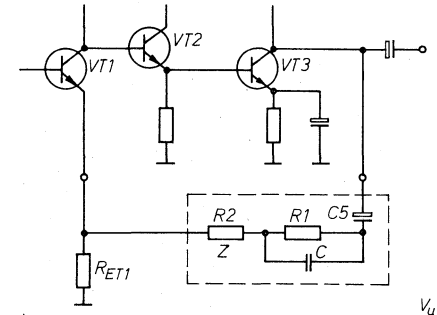
Die Aussteuerbarkeit dieser Stufe gegenüber der mit zusätzlichem Widerstand muß nur halb so groß sein, da der Magnetkopfwiderstand den halben Wert des zusätzlichen Widerstands hat. Im Beispiel mit dem 80-mH-Kopf sind dann nur noch 3 V aufzubringen, was mit Speisespannungen um 15 V gut zu erreichen ist.
Eine weitere Möglichkeit zur Erreichung eines konstanten Stromflusses bei geringer Aussteuerung der Endstufe ist die Überbrükkung des zusätzlichen Widerstands mit einem Kondensator (Bild 6.9 b). Es ist dann jedoch ein Sperrkreis für die Lösch- und Vormagnetisierungsfrequenz unbedingt erforderlich.

Die Bilder 6.9 a bis e zeigen verschiedene Möglichkeiten der Ausgangskreisgestaltung. Der Meßwiderstand $R_{meß}$ (Bild 6.9 a) dient der Einstellung von I_z und I_v. Für die Aufzeichnungsstromeinstellung ist eine Möglichkeit der HF-Abschaltung vorgesehen. Die Sperrkreise verhindern das Eindringen von HF. Eine Möglichkeit der Ankopplung mit angezapfter Wicklung des Magnetkopfes und Aufzeichnungsstromeinstellung für verschiedene Bandsorten enthält Bild 6.9 e. Diese Variante erfordert zwar bei halber Wicklung den doppelten Aufzeichnungsstrom für das gleiche Magnetfeld, benötigt dafür jedoch nur die halbe Spannung. Die notwendige Aussteuerung der Endstufe verringert sich dadurch. Bei einer Ausgangsstufe (Bild 6.8) mit Ausgangskreis (Bild 6.9 c) ist dann die Aufzeichnungsstromanpassung vor dieser Stufe vorzunehmen.

6.2.2. Korrigierte Verstärkung (Ent- und Verzerrung)

Wiedergabe

Zur Entzerrung der Wiedergabeleerlaufspannung kann man eine frequenzabhängige Gegenkopplung in die Rückführung einschalten. Bei genügend hoher Leerlaufverstärkung bestimmen nur noch die im Bild 6.10 b eingezeichneten Bauelemente den Verstärkungsverlauf. Dabei wird mit $\tau_1 = R_1C_6$ und mit $\tau_2 = R_2C_6$ die Grundentzerrung, d. h. die eines idealen Verlaufs der Wiedergabeleerlaufspannung vorgenommen. Der geringfügigen Kompensation von wiedergabeseitigen Band-Kopf-System-Verlusten von -3 dB ($f = 15$ kHz, $v = 95{,}3$ mm/s) dient die Parallelschaltung von $R4$ und $C7$. Diese Verstärkungsanhebung wird mit $R5$ und $C7$ bei der Übergangsfrequenz von etwa 38 kHz wieder rückgängig gemacht. $R6$ verhindert das Aufladen von $C7$ und damit Knackgeräusche beim Umschalten. Für diese Verlustkompensation kann, wie im Abschnitt 6.2.1. schon erwähnt, auch eine Kapazität parallel zum Wiedergabemagnetkopf geschaltet werden. Es sind bei der Resonanzfrequenz etwa 10 dB Überhöhung möglich, die durch den Eingangswiderstand bedämpft werden kann. Der Vorteil dieser Variante ist der steile Abfall außerhalb des Resonanzbereichs und damit die Unterdrückung von Störungen. Im Resonanzbereich werden allerdings die Störungen, auch das Rauschen, mit angehoben. Weiter ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz vom

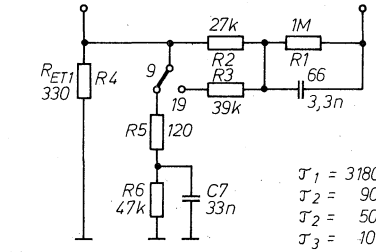


a)

$\tau_1 = C\,R1$

$\tau_2 = C\,R2$

$V_u = \frac{U_a}{U_e} = \frac{z}{R_{ET1}} + 1$



b)

$V_u \approx 45\,dB \quad v = 95,3\,mm/s$

$V_u \approx 44\,dB \quad v = 190,5\,mm/s$

bei $f = 1\,kHz$

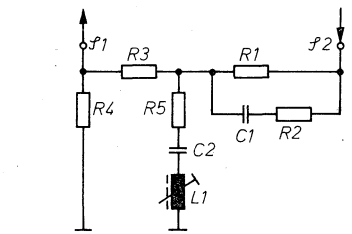
$\tau_1 = 3180\,\mu s = R1\,C6$

$\tau_2 = 90\,\mu s = R2\,C6 \quad (v = 95,3\,mm/s)$

$\tau_2 = 50\,\mu s = R2 \,||\, R3 \cdot C6 \quad (v = 190,5\,mm/s)$

$\tau_3 = 10\,\mu s = R4\,C7$

$\tau_4 = 4\,\mu s = R5\,C7$



c)

$\mathcal{F}1 = \mathcal{F}2$

$\tau_1 = C1R1$

$\tau_2 = C1R2$

Bild 6.10 Aktive Frequenzgangbeeinflussung zur Wiedergabeentzerrung;
a – Pinzip,
b – Dimensioniertes Beispiel für zwei Geschwindigkeiten, für 66 lies: C6
c – Prinzip mit Resonanzkreis zum Ausgleich der Höhenverluste bei kleinen Arbeitsgeschwindigkeiten

Abrieb des Kopfes (siehe Abschnitt 4.5.2.) nachteilig. Bei genügend großem $R_1 + R_2$ kann $C5$ entfallen. Mit der Schaltungsvariante im Bild 6.10 c ist ebenfalls eine gute Anpassung an den Verlauf der Band-Kopf-System-Verluste möglich. Mit $L1$ wird die Resonanzfrequenz und mit $R5$ die Bedämpfung eingestellt. Der Reihenschwingkreis ist am wirksamsten, wenn sein Resonanzwiderstand kleiner als die Summe von $R4$ und $R3$ wird. Befinden sich im Rückführungszweig Kondensatoren, haben diese Einfluß auf den Übertragungsverlauf, d. h., die Widerstandswerte für τ_1 und τ_2 können von den errechneten Beträgen abweichen. In den Schaltungsstrukturen nach Bild 6.5 stimmen sie mit den Rechenwerten genau überein. Ihr Wert richtet sich nach der einzustellenden Verstärkung. Dies sei an einem Beispiel demonstriert: Die Spannung am Ausgang des Wiedergabeentzerrers soll 100 mV bei der im Abschnitt 6.1.2. berechneten Wiedergabespannung von 0,96 mV bei $f_0 = 400$ Hz betragen.
Nach

$$V_u = \frac{U_a}{U_e} = \frac{Z}{R_{ET1}} + 1 \tag{89}$$

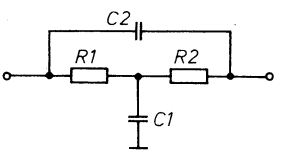
ist die Verstärkung dann $V_u = 104$ und $Z_O \approx 34\,\text{k}\Omega$ mit $R_E = 330\,\Omega$ [$Z_O = (V_u - 1)\,R_{ET1}$]. Der Kondensator berechnet sich dann mit Gl. (77) und $C = \frac{\tau_0}{Z_0}$ zu $C = 11{,}7$ nF (10 nF // 1,7 nF). $R_1 = 270\,\text{k}\Omega$ mit der Zeitkonstanten $\tau_1 = R_1 C = 3180\,\mu$s und $R_2 = 4{,}3\,\text{k}\Omega$ mit $\tau_2 = R_2 C = 50\,\mu$s. Zu beachten ist bei der Verstärkungsfestlegung neben dem gewünschten bzw. notwendigen (*Dolby*-Pegel) Ausgangspegel, daß der Pegel der tiefen Frequenzen minimal 10 dB unter dem der Leerlaufverstärkung liegen darf, damit noch eine genügend starke Gegenkopplung zur Linearisierung (Klirrfaktor) der Transistorkennlinien vorhanden ist. Im Beispiel muß die Verstärkung der tiefen Frequenzen gegenüber der bei $f_0 = 400$ Hz ($V_u \triangleq 40$ dB) noch um 10 dB angehoben werden. Es ist damit noch eine Verstärkungsreserve von >40 dB vorhanden. Bei hohen Ausgangsspannungen kann es zweckmäßig sein, die Gesamtverstärkung auf mehrere Verstärker aufzuteilen. Mit der Stufenfolge im Bild 6.5 lassen sich etwa 100 dB Leerlaufverstärkung erreichen.
Die Umschaltung der Zeitkonstanten für die verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten bzw. Bandsorten läßt sich mit mechani-

schen Kontakten entsprechend Bild 6.10 durchführen. Eine andere Variante enthält Abschnitt 6.3.

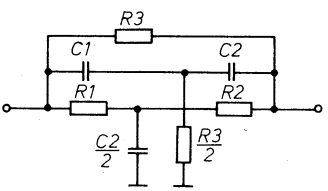
Aufzeichnung

Zur Realisierung der erforderlichen Aufzeichnungsstromanhebung (Bild 6.12 c) können ebenfalls frequenzabhängige Netzwerke in die Rückführung eines Verstärkers geschaltet werden. Für die Anhebung der tiefen Frequenzen entsprechend τ_1 genügt wie beim Wiedergabeentzerrer ein einfaches RC-Glied. Für den oberen Frequenzbereich sind bei der Arbeitsgeschwindigkeit $v \leq 95{,}3$ mm/s steilere Entzerrerkennlinien erforderlich. Dazu werden meist kompliziertere Netzwerke (Bild 6.11) mit Resonanzverhalten und einem steilen Abfall außerhalb des Übertragungsbereichs verwendet. Da diese sich nicht mit einfachen Mitteln berechnen lassen, ist eine aufwendige experimentelle Dimensionierung zum Angleich an den erforderlichen Kurvenverlauf notwendig.

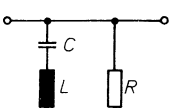
Mit dem überbrückten T-RC-Glied (Bild 6.11 a) ist eine Steilheit



a)



b)



c)

Bild 6.11
Aufzeichnungsverzerrernetzwerke zum Einschleifen in die Rückführung eines Verstärkers entsprechend Bild 6.5;
a – überbrücktes T-RC-Glied,
b – überbrücktes Doppel-T-RC-Glied,
c – RCL-Glied

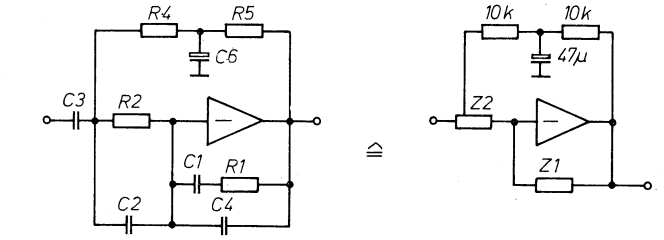
von etwa 12 dB je Oktave erreichbar. Oberhalb des Übertragungsbereichs bewirkt der Verstärkungsabfall die gewünschte Unterdrückung von Störsignalen.

$$\omega_o \approx 1/\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2} \tag{90a}$$

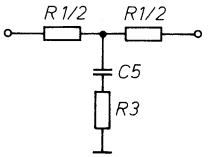
Das Doppel-T-RC-Glied (Bild 6.11 b) ergibt eine hohe Steilheit der Verzerrerkennlinie. R_3 bedämpft die Anhebung bei ω_o.

$$\omega_o \approx 1/\sqrt{\frac{(R_1 + R_2)\, R_3 C_1 C_2}{2}} \tag{90b}$$

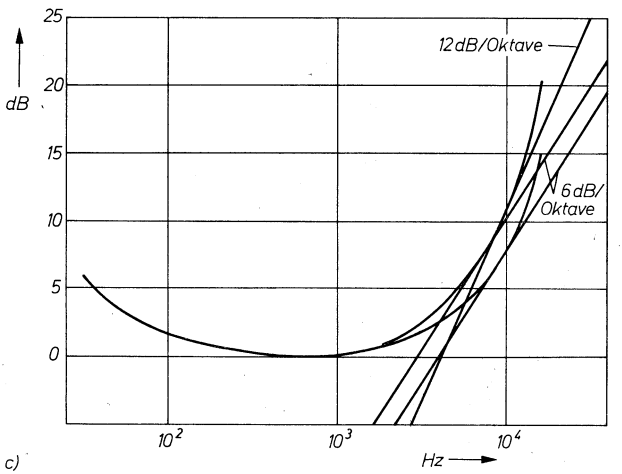
Das RLC-Netzwerk (Bild 6.11 c) ermöglicht bei einfacher Dimensionierung einen guten Angleich an den erforderlichen Kurvenverlauf. Es sind sehr große Steilheiten erreichbar, wobei die Resonanzspitze mit dem Widerstand R auf den erforderlichen Wert bedämpft werden kann. Mit der Bedämpfung ergibt sich ein flacher Verlauf der Verzerrerkennlinie.
Die RC-Glieder lassen sich z. B. in ein Verstärkerkonzept (Bild 6.5) mit der notwendig hohen Leerlaufverstärkung einfügen. Die Tiefenanhebung wird durch einen frequenzabhängigen Spannungsteiler am Eingang des Aufzeichnungsverzerrerverstärkers (Bild 6.24) vorgenommen. Ebenso kann ein einfaches RC-Glied in die Gegenkopplung eingefügt werden. Der damit erzielte Verstärkungsanstieg zu tiefen Frequenzen hin muß dann durch Überbrükken der Kapazität mit einem Widerstand rückgängig gemacht werden. Zur Anwendung von RLC-Netzwerken siehe Bild 6.24.
Für Mehrgeschwindigkeitslaufwerke bzw. für in ihren Eigenschaften stark voneinander abweichende Bandtypen sind Umschaltungen der Verzerrung (unterschiedliche Aufzeichnungsstromanhebung entsprechend der Zeitkonstanten) und der Verstärkung (unterschiedlicher Aufzeichnungsstrom entsprechend dem Arbeitspunkt des Bandes bei den verschiedenen Bandmaterialien) erforderlich. Dazu ist es üblich, in die Gegenkopplung des Aufzeichnungsverzerrers die Tiefenverzerrung (für alle Bandtypen und Arbeitsgeschwindigkeiten der Heimtontechnik gleich) und eine Grundverzerrung der Höhen vorzunehmen. Die restliche Höhenverzerrung wird durch das Einschalten von passiven Netzwerken entsprechend der Zeitkonstanten und mit Einstellmöglichkeit für den Aufzeichnungsstrom in den NF-Weg erreicht. Näheres dazu ist z. B. [20] zu entnehmen. Entsprechend dem vorgeschlagenen



a)



b)



c)

Bild 6.12 Aufzeichnungsverzerrernetzwerk mit invertierendem Verstärker;
a – Beschaltung,
b – versteilerte Höhenanhebung,
c – grafische Darstellung

Schaltungskonzept im Abschnitt 6.3. soll auf eine Verzerrervariante mit invertierendem Verstärker (Bild 6.12 a) eingegangen werden. Diese Variante eignet sich für Arbeitsgeschwindigkeiten $\geq 95{,}3$ mm/s. Für die Arbeitsgeschwindigkeit 47,6 mm/s, bei der höhere Steilheiten erforderlich sind, ist eine Variante mit Doppel-T-RC-Glied oder RLC-Netzwerk vorzuziehen. Der Verstärkungsverlauf in Abhängigkeit von der Frequenz eines invertierenden Verstärkers mit RC-Gliedern in der Gegenkopplung wird durch das Verhältnis Z_1 zu Z_2 bestimmt (hohe Leerlaufverstärkung vorausgesetzt).

$$V_u = -\frac{U_a}{U_e} = \frac{Z_1}{Z_2} \tag{91}$$

Den Verlauf der Verzerrerkennlinien bestimmen im einzelnen:
$R_1 C_1 = \tau_1$ Tiefenanhebung zur Erreichnung des genormten Bandflusses
$R_2 C_2 = \tau_2$ Höhenanhebung entsprechend der jeweiligen Übertragungsfrequenz (Bild 6.12 c)
$R_1 C_3 = \tau_3$ Tiefenabsenkung (Begrenzung des weiteren Verstärkungsanstiegs außerhalb des Übertragungsbereichs)
$R_2 C_4 = \tau_4$ Höhenabsenkung (Begrenzung des weiteren Verstärkungsanstiegs außerhalb des Übertragungsbereichs)
Zur steileren Höhenanhebung kann R_1 unterteilt und ein Kondensator gegen Masse geschaltet werden (Bild 6.12 b). Es ergibt sich damit eine Verringerung der Gegenkopplungsspannung bei hohen Frequenzen, was einen Verstärkungsanstieg zur Folge hat. Die zweite Übergangsfrequenz entspricht der Zeitkonstante:

$$\left(\frac{R_1}{2} \,||\, \frac{R_1}{2}\right) C_5 = \tau_5 = \frac{R_1}{4} C_5 \tag{92}$$

Der Widerstand R5 bewirkt in Verbindung mit C3 eine Begrenzung dieser Höhenanhebung.
Die Übergangsfrequenzen lassen sich mit einer grafischen Methode (Bild 6.12 c) ermitteln. Dazu ist eine Gerade mit 6 dB Anstieg je Oktave in das Koordinatensystem einzuzeichnen und durch Parallelverschiebung an die jeweilige Kurve anzulegen. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der 0-dB-Linie entspricht der Übergangsfrequenz. Sind steilere Anhebungen erforderlich, ist eine weitere Gerade mit 12 dB je Oktave anzulegen. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der ersten Gerade entspricht dann der zweiten Übergangsfrequenz. Entsprechend Bild 6.12 c ergeben

sich damit die Zeitkonstanten $\tau_1 = 3180\,\mu s$, $\tau_2 = 64\,\mu s$ ($f_ü \approx 2{,}5\,kHz$), $\tau_5 = 20\,\mu s$ ($f_ü \approx 8\,Hz$) für $v = 95{,}3$ mm/s und $\tau_2 = 40\,\mu s$ für $v = 190{,}5$ mm/s. Die restlichen Zeitkonstanten ergeben sich mit der Festlegung der Übergangsfrequenzen zur Verstärkungsbegrenzung zu:
$\tau_3 = 32\,ms$ ($f_ü = 5\,Hz$), $\tau_4 = \tau_6 = 4\,\mu s$ ($f_ü = 40\,kHz$).
Bei mittleren Frequenzen wird die Verstärkung durch das ohmsche Widerstandsverhältnis $R1$ zu $R2$ bestimmt. Mit dem im Abschnitt 6.1. ermittelten Aufzeichnungsstrom von 0,45 mA bei Bezugsfrequenz und dem nur nennenswerten Widerstand R_z im Ausgangskreis des Aufzeichnungsverstärkers von 1,8 kΩ für den A2H9 beträgt die erforderliche Ausgangsspannung $U_a = 80\,mV$. Mit der im Bild 6.21 festgelegten Eingangsspannung des Verzerrernetzwerks von $U_e = 200\,mV$ ergibt sich für das Widerstandsverhältnis $R_1/R_2 = 80\,mV/200\,mV = 0{,}4$. Für $R1$ gilt: $R_1 = 0{,}4\,R_2$.
Bei der Festlegung der Widerstandswerte ist zu berücksichtigen, daß diese, um kleine Kapazitätswerte zu erhalten, möglichst groß sein sollten. Da aber auch über $R_2 + R_4 + R_5$ der Arbeitspunkt des Verstärkers eingestellt wird, kann R_2 nicht sehr groß gewählt werden. Es wurden 88 kΩ festgelegt. R_4 und R_5 belasten die Ausgänge der elektronischen Potenztiometer *A 273* und *A 274*. Da die minimale Last nicht kleiner als 4,7 kΩ sein sollte, werden sie mit 10 kΩ ($R_{4;5}//Z_{1;2} = 4{,}7\,k\Omega$) festgelegt. Damit sind alle Werte zur weiteren Dimensionierung bekannt. Die Kapazitäten errechnen sich aus den Zeitkonstanten:

$$C_1 = \frac{\tau_1}{R_1} = \frac{3180\,\mu s}{36\,k\Omega} = 88\,nF$$

$$C_{2(9)} = \frac{\tau_{2(9)}}{R_2} = \frac{64\,\mu s}{88\,k\Omega} = 737\,pF \approx 800\,pF$$

$$C_3 = \frac{\tau_3}{R_2} = \frac{32\,ms}{88\,k\Omega} = 364\,nF \approx 360\,nF$$

$$C_4 = \frac{\tau_4}{R_1} = \frac{4\,\mu s}{36\,k\Omega} = 111\,pF \approx 100\,pF$$

$$C_5 = \frac{\tau_5}{\frac{R_1}{4}} = \frac{20\,\mu s}{\frac{9\,k\Omega}{4}} = 2{,}22\,nF \approx 2{,}2\,nF$$

$$C_{2(19)} = \frac{\tau_{2(19)}}{R_2} = \frac{40\,\mu s}{88\,k\Omega} = 455\,pF \approx 470\,pF$$

und

$$R_3 = \frac{\tau_6}{C_5} = \frac{4\,\mu s}{1{,}8\,nF} = 1820\,\Omega \approx 1{,}8\,k\Omega.$$

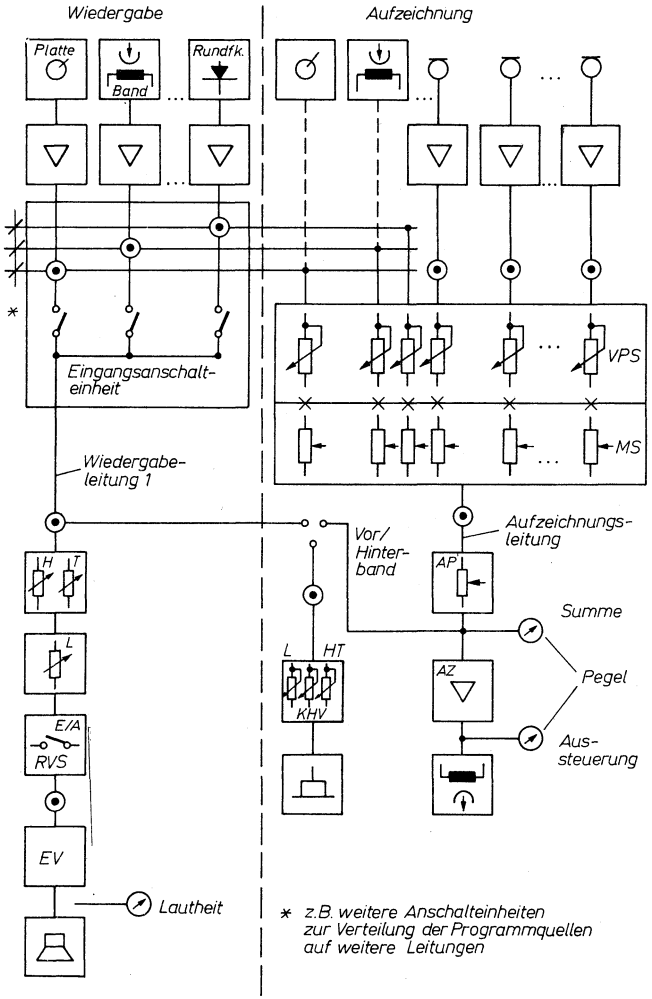
Die Zeitkonstantenumschaltung für die beiden Arbeitsgeschwindigkeiten kann auch hier mit mechanischen Kontakten durch Parallelschaltung zweier Kapazitäten $C_2 + C_2' = 360\,pF + 360\,pF = 720\,pF$ und das Zuschalten von $C5$ und $R3$ für die Arbeitsgeschwindigkeit von 95,3 mm/s erfolgen. Der Einsatzpunkt der zweiten Übergangsfrequenz wird durch Ersatz von $R1$ durch einen Einstellregler mit dem Kondensator $C5$ am Schleifer verändert.

6.3. Vorschlag eines erweiterten Band-Kopf-Systems

Mit dem Auf- oder Umbau eines Magnettongeräts ist für den Amateur die Möglichkeit gegeben, das Konzept des Speichergeräts seinen individuellen Bedürfnissen sowie seiner Heimstudioanlage anzupassen. Bild 6.13a gibt ein mögliches Heimstudiokonzept wieder. Kennzeichen dieses Konzepts sind:

- alle erforderlichen Baugruppen sind einmalig vorhanden,
- an den mit 0 gekennzeichneten Punkten liegt ein Einheitspegel an, wodurch die Variation durch Weglassen bzw. Ergänzung von Baugruppen gegeben ist.

An den mit (x) gekennzeichneten Stellen können z. B. für die Aufzeichnung das Signalspektrum beeinflussende Baugruppen bzw. Richtungsmischer u. ä. eingefügt werden. Das Konzept des neu zu gestaltenden Magnettongeräts wird sich nach den vorhandenen Anlagenteilen bzw. dem vorgesehenen Einsatzgebiet richten. Ein Magnettongerät, ausschließlich für die im Bild 6.13a gezeigte Anlage mit der Zusammenfassung der einzelnen Baugruppen in Gebergeräte, NF-Leistungsverstärker (Anschalteinheit, Klang- und Lautstärkesteller, Endverstärker) und Mischeinrichtung mit Abhöreinrichtung, Summensteller und Pegelanzeige brauchte dann nur aus dem Wiedergabeentzerrer (Rauschminderungssystem) und dem Aufzeichnungsverzerrer (Rauschminderungssystem)

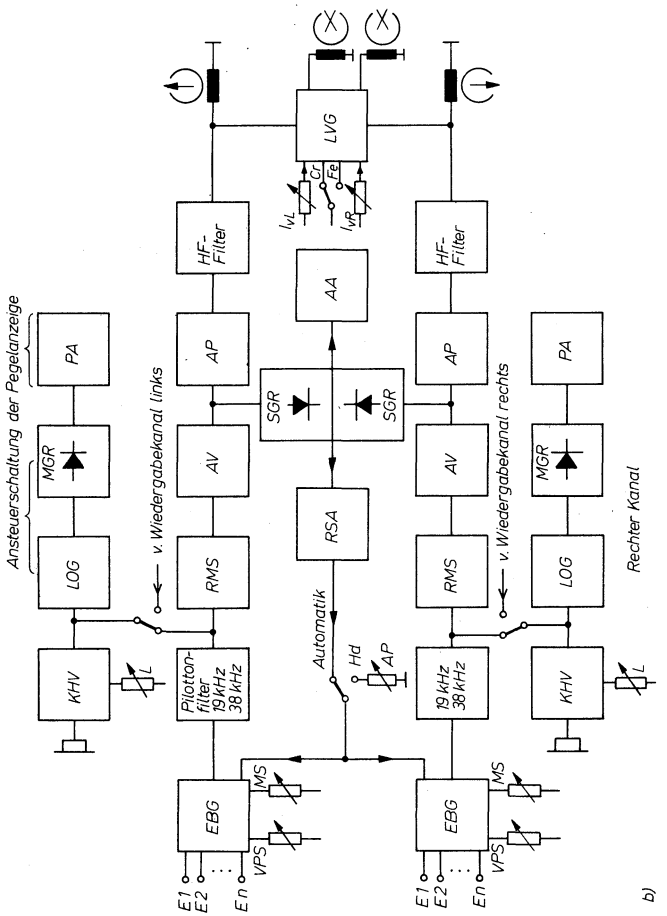


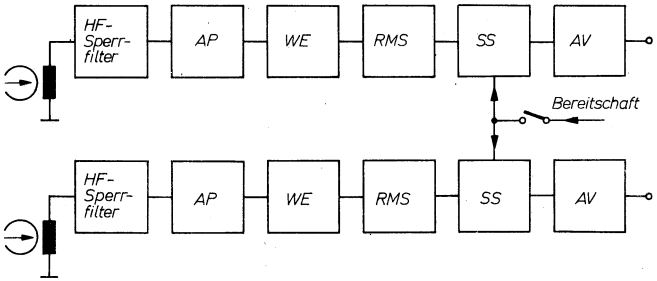
a)

mit der Aussteuerungsanzeige zu bestehen. Ebenso kann, wenn der entsprechende Verwendungszweck vorgesehen ist, die Mischeinrichtung Bestandteil des Magnettongeräts sein. Wenn man die

einzelnen Baugruppen zu Geräten kombiniert, sollten so wenig wie möglich Baugruppen mehrfach auftreten und ein universeller Einsatz gewährleistet sein. Tabelle 6.1. enthält die für die Eingangs- und Ausgangsbeschaltung notwendigen Angaben.

Der im Bild 6.13 b prinzipiell dargestellte Aufzeichnungskanal ist für ein hochwertiges Magnettongerät geeignet. Die Eingangsbaugruppe gestattet das Anschalten bzw. Mischen mehrerer Pro-





c)

Bild 6.13 Prinzip einer möglichen Heimstudioanlage;
a – Gesamtanlage,
b – Aufzeichnungskanal,
c – Wiedergabekanal

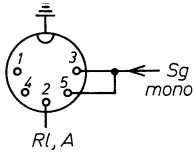
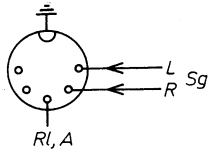
grammquellen. Zur spannungsmäßigen Anpassung der Eingänge an die verschiedenen Quellen könnnen Vorpegelsteller (VPS) vorgesehen werden. Zur widerstandsmäßigen (Leistungs-) Anpassung können die Eingänge entsprechend den Quellwiderständen aufgeteilt werden.

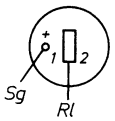
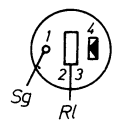
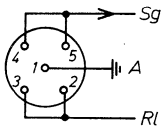
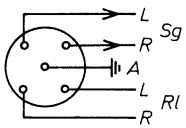
Das der Eingangsbaugruppe nachgeschaltete Filter (siehe z. B. [20], kann auch in den Rundfunkeingang gelegt werden) soll den Hilfsträger (Pilotton) der Stereorundfunksendungen unterdrükken, um Störungen beim Aufzeichnungsvorgang (Pfeiftöne bei der Wiedergabe) bzw. eine Beeinflussung der Regelvorgänge (automatische Aussteuerungsregelung, Rauschminderungssysteme mit pegelabhängigem Regelverhalten) zu vermeiden.

Zur Verringerung des Magnetbandrauschens (bei $v \leq 95{,}3$ mm/s sehr zweckmäßig) ist dem Aufzeichnungsverzerrer ein Rauschminderungssystem (RMS) vorgesetzt, z. B. *Dolby B* in Kompanderschaltung [20, 26].

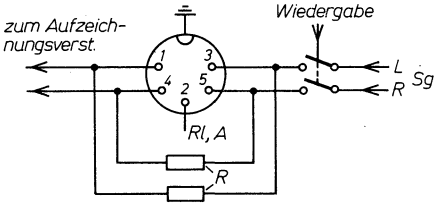
Im Aufzeichnungsverzerrer (AV) können Umschaltungen des Aufzeichnungsstromverlaufs in Abhängigkeit von der Frequenz entsprechend den erforderlichen Bandflußverläufen für mehrere Arbeitsgeschwindigkeiten und/oder verschiedene Bandmaterialien vorgenommen werden. Ebenso sind beim Einsatz verschiedener Bandtypen (Nennaufzeichnungspegel) die Aufzeichnungsstromstärken entsprechend umzuschalten.

Tabelle 6.1. Anschlußwerte und Belegung von Ein- und Ausgängen, Anforderungen an Stellorgane

Benennung	Einheit	MB 6 und MB 4K Klasse			Bemerkungen
		1	2	3	
Einstellbereich des Aufz.-Pegels	dB	40	30	26	–
Einstellbereich der automat. Aussteuerungs-regeleinrichtung	dB	noch nicht standardisiert			Bei Klasse-1-Geräten muß die automatische Aussteuerungsregelein-richtung abschaltbar sein.
Dynamische Eigenschaften der automat. Aussteuerungsregeleinrichtung					
Ausgänge linearer Ausg. Anschlußwerte am linearen Ausgang	–	gefordert			1) 2) 9)
Anschlußbelegung am linearen Ausgang					4) 5)

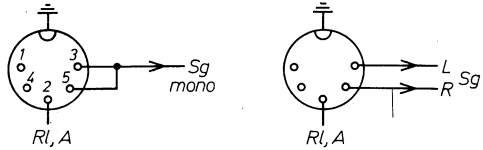
Ausgangswerte am Leistungsausgang mindestens (äußere Anschlußstelle für Lautspr.) bei Wiedergabe einer Aufzeichnung mit Betriebsaufzeichnungspegel Heimgeräte	W	10 (8)	6 (3)	3 (1,2)	
transportable Geräte – Netzbetrieb – Batteriebetrieb	W	(4,5) (2)	(3) (0,9)	(1) (0,4)	
Anschlußbelegung am Leistungsausgang				6)	4)
Ausgangswerte am Kopfhörerausgang					3)
Anschlußbelegung am Kopfhörerausgang					

Benennung	Einheit	MB 6 und MB 4K Klasse			Bemerkungen
		1	2	3	
kombinierter Ein/Ausgang zur Aufzeichnung nieder- und hochpegliger Signale und zur Wiedergabe Anschlußbelegung					Die Signalaufzeichnung von hochpegligen Quellen ist möglich, wenn die Kontakte 3, 5 und 1,4 mit einem Widerstand 470 kΩ ≤ R ≤ 2,2 MΩ überbrückt werden. Der genaue Wert richtet sich bei vorgegebenen Nenneingangsspannungen ($U_{1,4}$ und $U_{3,5}$)' für den nieder- und hochpoligen Eingang nach dem Eingangswiderstand (R_e) des Aufzeichnungsverstärkers $\left(\frac{U_{3,5}}{U_{1,4}} - 1\right) R_e = R$ Der meßbare Schaltkontaktübergangswiderstand soll = 1 MΩ sein. Bei monofonen Geräten sind die Kontakte 1,4 und 3,5 zu brücken.

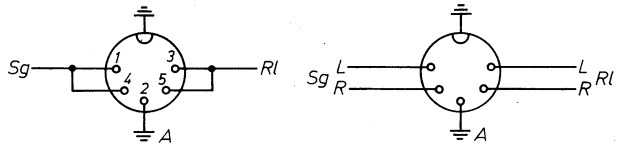


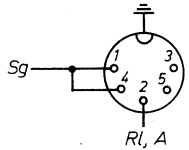
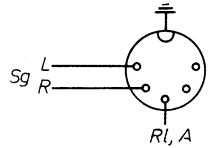
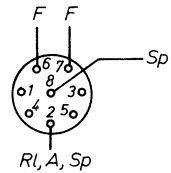
Anschlußwerte			Kontakte 1,4 ≤ 2	z. B. bei Anschluß von Mikrofonen
Eingänge	Spannung	mV	Kontakte 3,5 ≥ 100	
	Strom	mV/kΩ	Kontakte 1,4 ≤ 2	z. B. bei Anschluß von Hör- und Fernsehrundfunkempfängern, Verstärkern, Schallplattenwiedergabeeinrichtungen oder vom zweiten Tonbandgerät

Eingänge für Schallplattenabspielgerät, HF-Empfangsteil (Tuner), Fernsehrundfunkempfänger, Tonbandgerät (nur Wiedergabe)



für Mikrofon[7]
symmetrisch



Benennung	Einheit	MB 6 und MB 4K Klasse			Bemerkungen
		1	2	3	
unsymmetrisch					
für Mikrofon mit Fernbedienungsschalter und mit Speisespannung					Der sonstige Anschluß ist entsprechend der Beschaltung bei symmetrischen bzw. unsymmetrischen Mono- und Stereomikrofonen; ohne Speisespannung sind Steckverbinder ohne Kontakt 8 zu verwenden

[1] Nur Wiedergabe, kann zusätzlich auch bei Aufnahme- und Wiedergabegeräten zum Ansteuern eines externen Leistungs- bzw. Kopfhörerverstärkers, Lichteffektgeräts usw. vorgesehen werden.

[2] Bei vorhandenem Leistungsverstärker muß dessen Verstärkung unabhängig vom eingestellten Pegel des linearen Ausgangs einstellbar sein (gilt nicht für Klasse 3). Wenn bei Klasse 3 der Pegel am linearen Ausgang einstellbar ist, muß der Lautsprecher abstellbar sein.

[3] TGL 28200/13

[4] TGL 28200/05

[5] Je nach Signalabgriff in der Schaltung des Geräts kann es erforderlich sein, den Wiedergabeverstärker vom Ausgang zu entkoppeln, d. h. gegen Signalkurzschluß bzw. Verkopplung der Stereokanäle zu sichern.

[6] Schaltbarer Ausgang für Lautsprecher. Der Stecker kann mit der Steckdose so verbunden sein, daß der eingeführte Rundstift entweder mit dem Kontakt 1 oder – nach Drehung des Steckers um 180° – mit dem Kontakt 4 verbunden ist. In letzterem Fall ist die Verbindung zwischen den Kontakten 3 und 4 aufgetrennt.

[7] Steckverbinder nach TGL 68–85, TGL 10472/01 und TGL 200-3516/03 und 04

⏚ – Erde
A – Abschirmung
Rl – Rückleiter
Sg – Signal
L – linker Kanal
R – rechter Kanal
F – Fernbedienungsschaltung
Sp – Speisespannung

Der Ansteuerung des Aufzeichnungsmagnetkopfes mit einem vom frequenzabhängigen Magnetkopfwiderstand unbeeinflußten Aufzeichnungsstrom dient die Anpaßgruppe (AP).
Um ein Abfließen des hochfrequenten Vormagnetisierungsstroms über den Innenwiderstand der Anpaßbaugruppe bzw. des Aufzeichnungsverstärkers zu vermeiden, ist ein auf die Vormagnetisierungsfrequenz abgestimmtes Filter nachgeschaltet.
Im Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator (LVG) können die notwendigen Umschaltfunktionen des Vormagnetisierungs- und Löschstroms für die verschiedenen Bandtypen bzw. zur Spurumschaltung (mono, playback, stereo) vorgenommen werden.
Eine gute Aussteuerungskontrolle ermöglichen zwei Teilanzeigen. Die frequenzunabhängige Pegelanzeige (PA) wird über einen Logarithmierer (LOG) und einen Mittelwert bildenden Gleichrichter (MGR) angesteuert. Sie dient der Einstellung des Pegels in bezug auf den Programminhalt (z. B. Beeinflussung der Dynamik, Ein- und Ausblenden des Summensignals usw.). Eine zusätzliche Anzeige des Pegels – Aussteuerungsanzeige (AA) – ist dem Aufzeichnungsverzerrer nachgeschaltet. Sie dient der Einstellung des Pegels in bezug auf die Eigenschaften des Speichers (Tiefenverzerrung, Höhenaussteuerbarkeit).
Eine akustische Kontrolle des aufzuzeichnenden Signals ist über Kopfhöhrerverstärker (KHV) möglich und sollte auch unbedingt vorgesehen werden.
In einer weiteren Baugruppe, die dem Spitzenwertgleichrichter (SGR) nachgeschaltet ist, kann eine Regelspannungsaufbereitung (RSA) zur Pegelbeeinflussung in der Eingangsbaugruppe erfolgen. Damit ist die Realisierung einer automatischen Aussteuerungsregelung oder eines Übersteuerungsschutzes bei Handbetrieb möglich.
Nicht in jedem Fall wird ein so hoher Aufwand für den Aufzeichnungskanal benötigt. Das Pilottonfilter kann, wenn es schon im Rundfunkempfänger integriert ist, entfallen. Ein Rauschminderungssystem kann bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten ($v \geq 190{,}5$ mm/s), bei Halbspurkopfsystemen und beim Verzicht auf Mehrfachumschnitte entfallen. Entsprechend dem eingesetzten Aufzeichnungskopf entscheidet sich, ob eine Anpaßstufe notwendig ist. Sind keine getrennten, pegelbeeinflussenden Stellglieder für die beiden Stereokanäle vorhanden, baut man die frequenzabhängige Pegelanzeige nur einmal auf.

Die Anpaßstufe (AP) des Wiedergabekanals im Bild 6.13 c dient vor allem der Rauschanpassung Magnetkopf – Elektronik. Ein HF-Filter, abgestimmt auf die Lösch- und Vormagnetisierungsfrequenz, ist bei Ausführungsformen des Band-Kopf-Systems als Drei- Kopf-System erforderlich. Ebenso muß dieses Filter in einer Ausführung mit Kombikopf vorgesehen werden, wenn ein Nacheinanderspielen der Spuren (playback) vorgesehen ist. In der mit WE gekennzeichneten Stufe erfolgt die Entzerrung der Wiedergabeleerlaufspannung. Eine Wiedergabezeitkonstantenumschaltung ist entsprechend den Standards für die Arbeitsgeschwindigkeiten bzw. Bandtypen erforderlich. Der Entzerrerstufe kann ein zweiseitiges Rauschminderungssystem (RMS, z. B. *Dolby B* in Expanderschaltung) oder ein bei Wiedergabe wirkendes System (DLN) nachgeschaltet werden. Die Stummschaltstufe (SS), gekoppelt mit der Bereitschaftstaste, verhindert das Hörbarwerden von Störgeräuschen in den Betriebspausen und beim Einschalten des Magnettongeräts. Die Ausgangsstufe dient der Pegel- und Widerstandsanpassung an den nachfolgenden Leistungsverstärker.

6.3.1. Eingangsbaugruppen des Aufzeichnungskanals

Für die Eingangsbaugruppe eines Magnettongeräts lassen sich vorteilhaft die integrierten Schaltungen *A 274* und *A 273* einsetzen. Es ist damit ein geringer Aufwand für elektonische Stell- und Schaltglieder aufgrund der wenigen äußeren Bauelemente und der in einer IS vierfach vorhandenen Verstärker erforderlich. Da die Eingangsbaugruppen im Kern Variationen mit gleicher Grundbeschaltung der IS *A 274* und *A 273* sind, wurde diese Standardbeschaltung gesondert dargestellt. Bild 6.14 gibt die der IS *A 274* als elektronisches Potentiometer in Stereoausführung zur Anwendung als Misch- und/oder Schaltbaugruppe, Vorpegelsteller bzw. Aufzeichnungspegelsteller wieder. Die Varianten a und b unterscheiden sich lediglich in den Werten der Widerstände R_1 bis R_4 zur Verstärkungseinstellung. Allgemeine technische Daten dieser Schaltung sind im Bild enthalten. Zu ergänzen ist noch, daß die Ausgänge mit Lastwiderständen von $\geq 4{,}7\,\text{k}\Omega$ abzuschließen sind. Ebenso sind die Ausgänge nur wenig kapazitiv belastbar. Zur Unterdrückung der Schwingneigung kann ein Widerstand von $\approx 100\,\Omega$ in die Ausgangsleitung geschaltet werden. Es ist eine gut

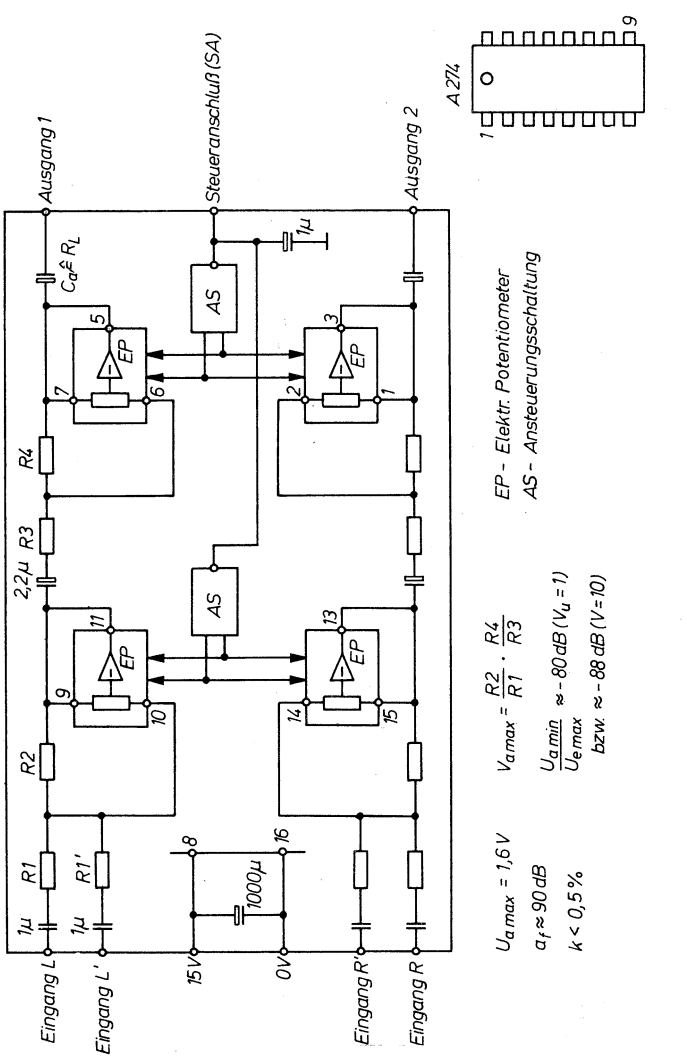


Bild 6.14 *A 274* in der Beschaltung als elektronisches Potentiometer in Stereoausführung;

a – zur Anwendung als Misch- oder/und Schaltbaugruppe bzw. Aufzeichnungspegelsteller $R_1 = R_1' = R_2 = 56\,k\Omega$, $R_3 = R_4 = 27\,k\Omega$

b – zur Anwendung als Vorpegelsteller (H/A) und als Schaltbaugruppe $R_1 = R_3 = 56\,k\Omega$, $R_2 = R_4 = 180\,k\Omega$

stabilisierte Betriebsspannung von 13,5 bis 16,5 V erforderlich. Die Masseleitungen sind niederohmig auszuführen, um die induzierte Störspannung klein zu halten und eine hohe Übersprechdämpfung zu gewährleisten. Näheres zur IS *A 274* enthalten [27, 28]. Bild 6.15 zeigt die Grundbeschaltung der IS *A 273* für Sonderanwendungen. Mit dem Einstellregler muß die Pegelgleichheit beider Kanäle eingestellt werden. Die maximale Eingangsspannung beträgt 1 V. Als Koppelkondensatoren an den Anschlüssen *11* und *14* sollten keine Elektrolytkondensatoren eingesetzt werden. Die übrigen technischen Daten und Anwendungshinweise entsprechen denen der IS *A 274*. Zur Gleichspannungssteuerung beider IS sind lineare Potentiometer zu verwenden. Der Eingang *4* (physiologische Lautstärkebeeinflussung) bleibt in allen Anwendungsfällen als Aufzeichnungspegelsteller unbeschaltet. Ebenso wird, wie schon erwähnt, die Balance einmalig abgeglichen.

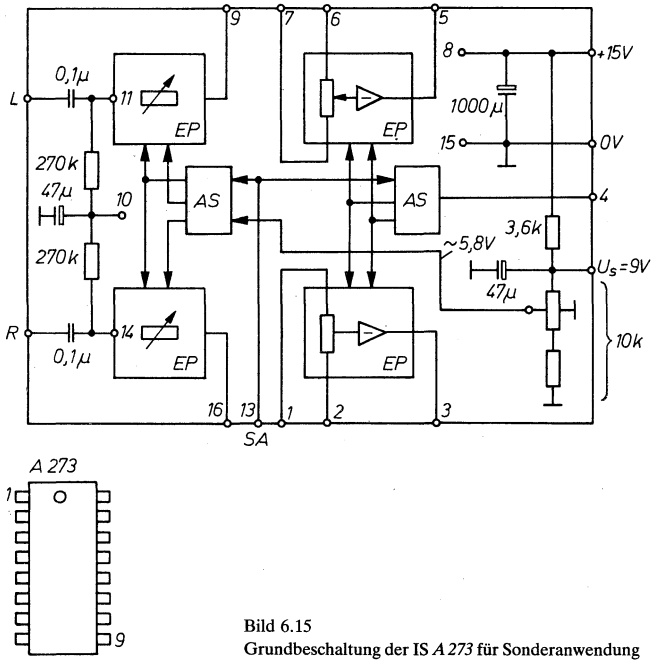


Bild 6.15
Grundbeschaltung der IS *A 273* für Sonderanwendung

Eine Eingangsbaugruppe setzt sich im allgemeinen aus einer Eingangsstufe zur Pegel- und Widerstandsanpassung der NF-Quellen an die nachfolgenden Stufen, einer Umschalteinheit bzw. Mischstufe (bei mehreren Eingängen) und einem Pegelsteller für den Aufzeichnungspegel zusammen. Die Eingangsbaugruppe im Bild 6.16 besteht im wesentlichen aus drei elektronischen Potentiometern der Variante b mit *A 274* (Bild 6.14). In beiden Eingängen ist je ein elektonisches Potentiometer EP 1 und EP 2 zum Anschalten der Eingänge mit den Kontakten E 1 und E 2 angeordnet. Mit dem Vorpegelsteller (VPS) kann die Verstärkung des jeweils angeschalteten Eingangs um ±20 dB, bezogen auf den Nennausgangspegel, variiert werden. Das elektronische Potentiometer EP 3 dient der Addition der beiden Eingänge und der Aufzeichnungspegeleinstellung im Bereich +6 dB (1,6 V) bis etwa −80 dB.
Als Eingangsstufe für den Eingang 1 wurde der rauscharme Vorverstärker der IS *A 202* [27] eingesetzt. An diesen Eingang können Quellen mit einer Ausgangsspannung von 0,5 mV bis 50 mV und einer Quellenimpedanz bis 1 kΩ bei gutem Rauschverhalten angeschaltet werden. Der Signal-Rausch-Abstand im unteren Frequenzbereich verringert sich um etwa 10 dB (Funkelrauschen). Dieser Eingang eignet sich für nieder- bis mittelohmige Mikrofone. An den Eingang 2 können Quellen mit einem Pegel von 160 mV bis 1,6 V und niedriger Quellenimpedanz angeschaltet werden. Für hochohmige Quellen empfiehlt sich eine Anpaßstufe.
Weitere Möglichkeiten für die Anwendung der IS *A 202* als Eingangsverstärker sind im Bild 6.17 enthalten. Die Eingangsstufe (Bild 6.17 a) ist für einen relativ großen Eingangsspannungsbereich ausgelegt und mit einem Vorpegelsteller versehen. Die symmetrische Eingangsverstärkervariante (AV) des *A 202* (Bild 6.17 b) eignet sich zum Anschalten an Eingang 2 der Eingangsbaugruppe nach Bild 6.16. Die Gleichtaktunterdrückung, mit dem 10-kΩ-Einstellregler auf Maximum abgleichbar, beträgt ≥ 70 dB. Der 15-nF-Kondensator am Ausgang unterdrückt die Schwingneigung des Aufzeichnungsverstärkers. Bei der eingestellten Verstärkung von $V_u = 1$ ist die maximale Ausgangsspannung ≤ 0,5 V mit einem Fremdspannungsabstand ≥ 70 dB. Mit großer eingestellter Verstärkung kann die Ausgangsspannung ≥ 2,5 V betragen.
Insbesondere wenn Quellen mit sehr großem Ausgangswiderstand und auch kleinen Pegeln anzuschalten sind, ist es notwendig, die Eingangsstufe diskret aufzubauen. Dazu kann eine Schaltung ent-

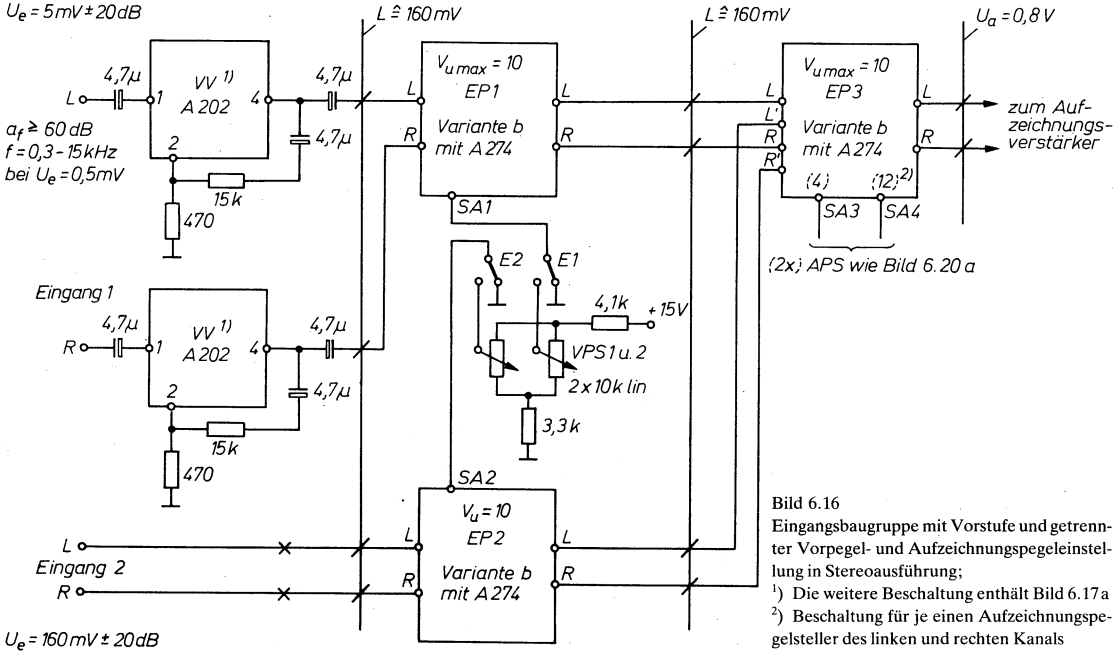


Bild 6.16
Eingangsbaugruppe mit Vorstufe und getrennter Vorpegel- und Aufzeichnungspegeleinstellung in Stereoausführung;
[1]) Die weitere Beschaltung enthält Bild 6.17a
[2]) Beschaltung für je einen Aufzeichnungspegelsteller des linken und rechten Kanals

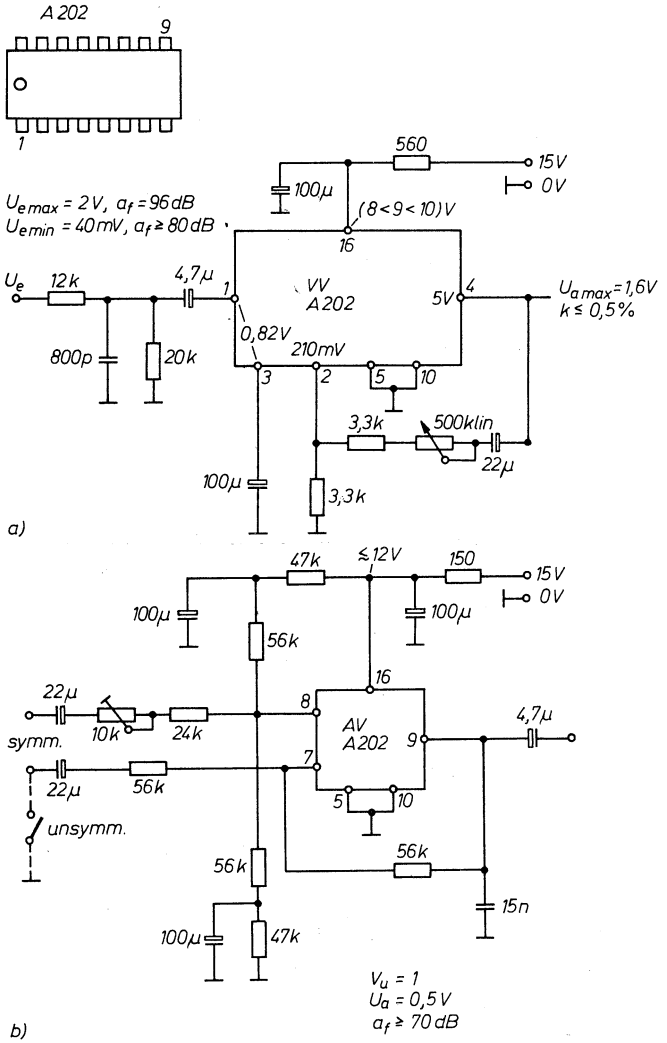


Bild 6.17 Anwendung der IS *A 202*;
a – Vorverstärker (VV) als Eingangsstufe für mittlere Pegel mit Vorpegelsteller
b – Aufzeichnungsverstärker (AV) als symmetrischer Eingangsverstärker

sprechend Bild 6.5 Verwendung finden. Zur Rauschanpassung niederohmiger Mikrofone (200 Ω) wird ein Transformator mit einem Übersetzungsverhältnis von $\ddot{u} = 5$ verwendet. Der Eingangswiderstand des Transistorverstärkers sollte, um Signale hoher Frequenz nicht zu bedämpfen, dann größer 200 kΩ sein.
Eine Variante einer Eingangsbaugruppe (Bild 6.18) enthält wiederum zwei elektronische Potentiometer der Variante b mit *A 274*, die der Vorpegeleinstellung (±20 dB) dienen. Die Eingänge werden über einen Umschalter freigegeben. Ebenso ist nur ein Vorpegelsteller vorgesehen. Die beiden Eingänge sind mit dem als Addierstufe beschalteten Verstärker des Physiologieteils der *A 273* (Bild 6.19) an die Aufzeichnungspegelstellstufe (Eingangsstufe der *A 273*) gekoppelt.

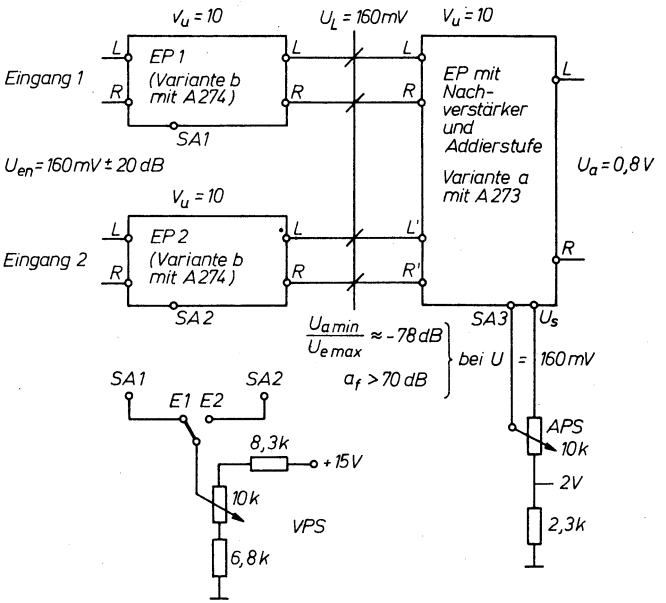


Bild 6.18 Zusammenschaltung von elektronischen Potentiometern mit *A 274* als Vorpegel- und *A 273* als Aufzeichnungspegelsteller

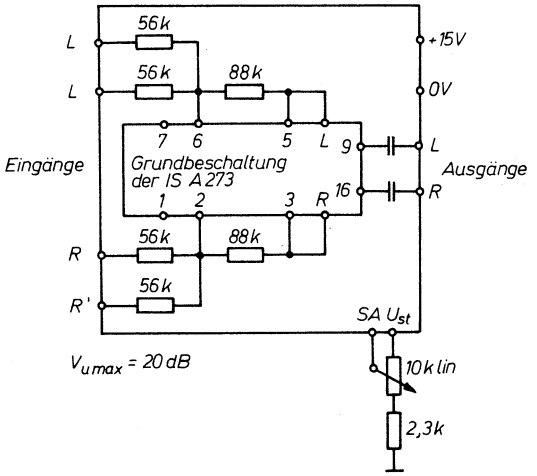


Bild 6.19 Beschaltung der IS *A 273* (Variante a) als elektronischer Aufzeichnungspegelsteller mit Eingangsaddierstufe

Zwei Möglichkeiten von Eingangsstufen enthält Bild 6.20. Die elektronischen Potentiometer der Variante a mit *A 274*, EP 1 und EP 2 im Bild 6.20 a, sind mit Mischstellern an den Steuereingängen beschalten. Mit den Kontakten können wahlweise je ein Eingang oder beide Eingänge angeschaltet werden. Diese Variante eignet sich besonders bei Verwendung von Vorstufen mit Vorpegelstellern. Es kann dann das wahlweise Anschalten zweier (oder auch mehrerer) Eingänge bzw. deren Mischung (Überblenden) mit relativ wenig Aufwand realisiert werden. Das elektronische Potentiometer EP 3 kann entfallen, wenn man es als zweckmäßig erachtet, für jeden Eingang einen getrennten Aufzeichnungspegelsteller vorzusehen (Mischsteller der EP 1 und EP 2). Es kann dann ein Widerstandsnetzwerk entsprechend Bild 6.20 b zur Addition der Signale verwendet werden. Die Variante im Bild 6.20 b setzt sich aus dem Additionsnetzwerk, einem Aufzeichnungspegelsteller und einem Aufzeichnungsverzerrerverstärker zusammen (siehe Variante b im Bild 6.21). Das Additionswiderstandsnetzwerk kann ebenso wie EP 3 erweitert werden, wodurch die Realisierung einer Mischeinrichtung mit mehr als zwei Eingängen möglich ist. Pinzi-

piell läßt sich das EP mit der IS *A 274* auch so beschalten, daß je ein Aufzeichnungspegelsteller für den linken und für den rechten Kanal zur Verfügung steht. Die beiden ansteuerseitig parallelliegenden EP des *A 274* sind dann NFmäßig in Reihe zu schalten und die Ansteueranschlüsse *4* und *12* des *A 274* (Bild 6.16) getrennt anzusteuern. Die Variante B eines EP mit *A 274* ist dann ansteuerseitig entsprechend zu ändern!

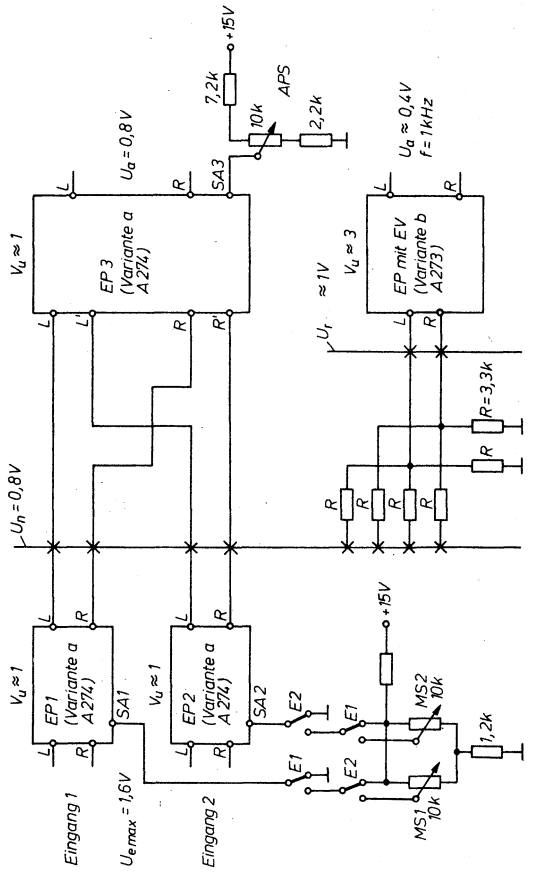


Bild 6.20 Zusammenschaltung der Misch- bzw. Schaltstufen;
a – mit nachgeschaltetem Aufzeichnungspegelsteller
b – mit nachgeschaltetem Aufzeichnungspegelsteller und Aufzeichnungsverzerrerverstärker

6.3.2. Aufzeichnungsverzerrerverstärker

Einen Aufzeichnungsverzerrerverstärker, der vorwiegend für eine Arbeitsgeschwindigkeit geeignet ist und mit der integrierten Schaltung *A 273* (Grundbeschaltung siehe Bild 6.15) aufgebaut wurde, zeigt Bild 6.21. Die Dimensionierung des Verzerrernetzwerks kann entsprechend den Angaben im Abschnitt 6.2.3. erfolgen. Das Einfügen der Kollektorstufe mit VT1 gestattet die Verwendung eines Einstellreglers zur Aufzeichnungspegeleichung und die Schaffung eines niedrigen Quellwiderstands zum Anschalten des Entzerrernetzwerks. Die Kollektorstufe mit VT2 ist bei Lastimpedanzen kleiner 4,7 kΩ und großem I_z erforderlich, da die Aussteuerbarkeit des *A 273* auf etwa 1,6 V begrenzt ist. Dies gilt auch für das Beispiel mit dem Aufzeichnungskopf A2H9 (R_z + /R_{MK}/

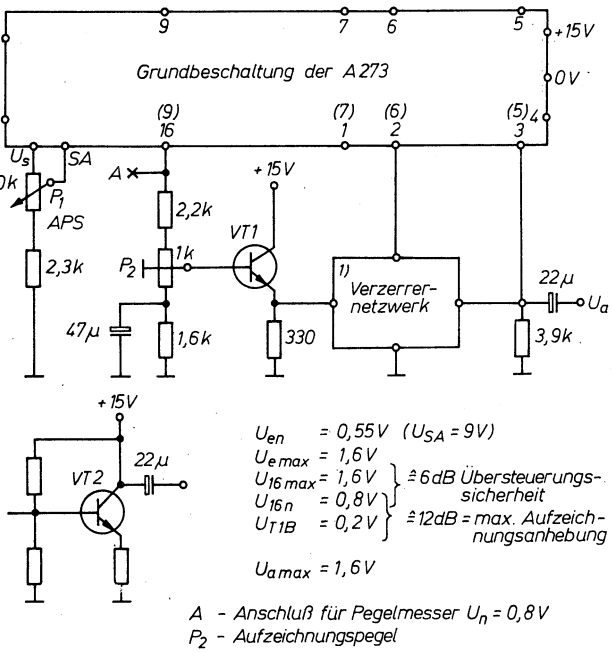


Bild 6.21 Aufzeichnungsverzerrer mit *A 273* (Vaiante b)

= 1,8 kΩ). Mit einem R_z von 4,6 kΩ ($Z_L \approx 4{,}7$ kΩ, $f = 16$ kHz) wäre eine Ausgangsspannung größer 3 V bei hohen Frequenzen erforderlich. Am Anschluß *16* (*9*) der IS *A 273* kann ein Pegelmesser mit frequenzunabhängiger Anzeige (Bild 6.27) angeschlossen werden. Bei der Verwendung von Magnetköpfen mit großer Induktivität kann die Ausgangsstufe im Bild 6.23 nachgeschaltet werden. VT1 und die Widerstände am Anschluß *16* (*9*) entfallen dann, und der Anschluß ist über einen Koppelkondensator mit dem Verzerrernetzwerk zu verbinden.

Ein Verzerrerverstärker mit elektrischer Umschaltung kann ebenfalls mit der IS *A 274* realisiert werden (Bild 6.22). Bei der Dimensionierung der Verzerrernetzwerke entsprechend den Angaben im Abschnitt 6.2. ist zu beachten, daß die typische Leerlaufverstärkung der elektronischen Potentiometer etwa 40 dB beträgt. *C*1 bis *C*3 gehören zum Verzerrernetzwerk. *C*4 dimensioniert man entsprechend dem Lastwiderstand. Bei kleinen Lastimpedanzen ist das Nachsetzen einer Anpaßstufe (entsprechend Bild 6.21) erforderlich und bei großen Induktivitäten des Aufzeichnungskopfes eine Ausgangsstufe entsprechend Bild 6.23 zweckmäßig. In der gezeichneten Schalterstellung sind die beiden Netzwerke NW1 und NW3 an die Verstärker angeschaltet. Dabei wird in NW3 die Aufzeichnungsstromanhebung für die Arbeitsgeschwindigkeit 190,5 mm/s und in NW1 eine Aufzeichnungsverzerrerkorrektur für eine stärkere Anhebung bei der Arbeitsgeschwindigkeit 95,3 mm/s realisiert. Mit der Betätigung des Schalters S1 liegen NW2 und NW3 in Reihe, so daß nur eine Anhebung für $v = 190{,}5$ mm/s wirksam ist. Mit S2 können die Netzwerke 2 und 4 in Reihe geschaltet werden. NW4 ist für die Arbeitsgeschwindigkeit 190,5 mm/s ohne Tiefenanhebung $\tau_1 = \infty$ und entsprechend $\tau_2 = 70\,\mu$s dimensioniert. Die Verzerrung des Aufzeichnungsstroms entsprechend dieser Wiedergabezeitkonstanten ist für 2-Halbspur-Band-Kopf-Systeme zweckmäßig. Es ist, da keine Tiefenanhebung erfolgt, die volle Aussteuerbarkeit bei diesen Frequenzen möglich.

Die Aufzeichnungsausgangsstufe im Bild 6.23 dient der Stromansteuerung des Aufzeichnungsmagnetkopfes. Die Realisierung erfolgt im Gegensatz zur prinzipiellen Variante im Bild 6.8 mit Transistoren gleicher Zonenfolge. Beim Anschalten an Verzerrerverstärker mit kleiner Ausgangsspannung muß der 15-kΩ-Widerstand am Eingang geändert werden bzw. kann ganz entfallen. Der

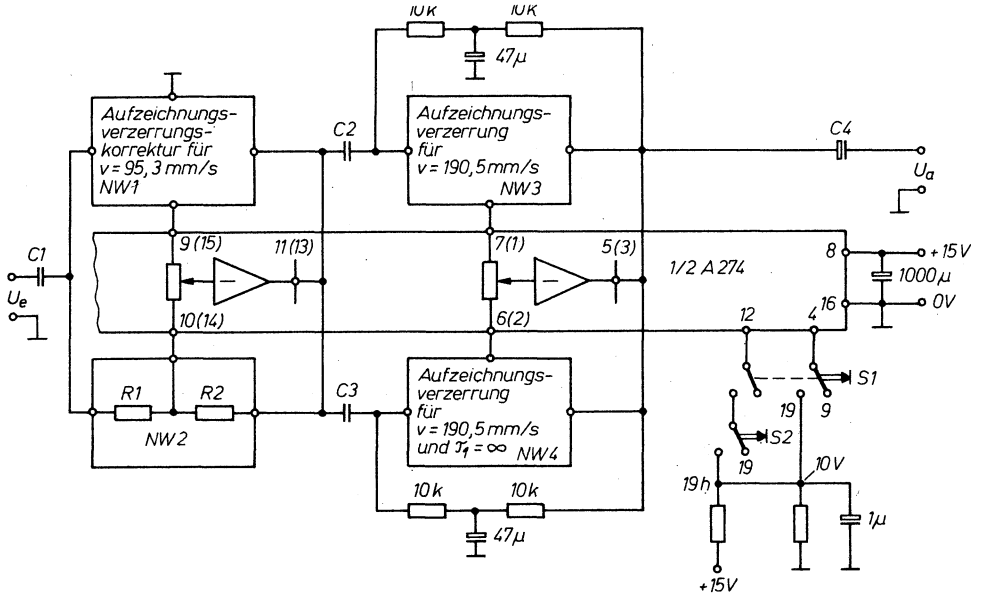


Bild 6.22 Beispiel eines umschaltbaren Entzerrerverstärkers mit der IS *A 274*

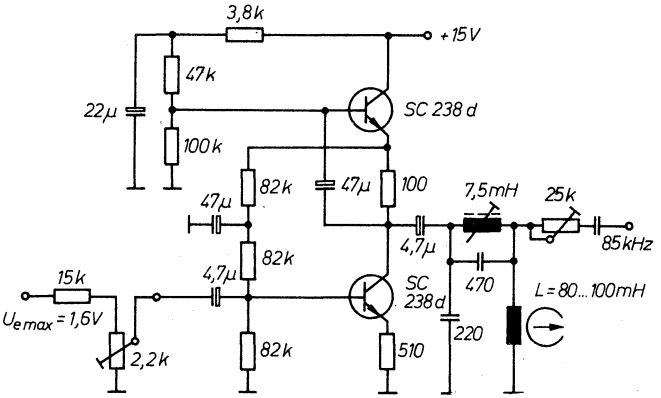


Bild 6.23 Aufzeichnungsstufe mit großem Ausgangswiderstand zur Stromsteuerung mittelohmiger Magnetköpfe

2,2-kΩ-Einstellregler zur Aufzeichnungsstromeichung muß gegebenenfalls entsprechend dem zusätzlichen Lastwiderstand der vorgeschalteten Stufe vergrößert werden. Aus dem Beispiel des A2H9 ist ersichtlich, daß man bei kleinen Induktivitäten wegen der dann auch kleinen Aussteuerbarkeit ohne solch eine Stufe auskommt. Dies gilt für Aufzeichnungsköpfe mit Induktivitäten bis etwa 50 mH.

Der Aufzeichnungsverzerrerverstärker im Bild 6.24 [8] ist für die Kassettentechnik und verschiedene Magnetbandtypen dimensioniert. Die Tiefenverzerrung erfolgt hier durch das RC-Glied *C*1, *R*1 in Verbindung mit dem Ausgangswiderstand (oder zusätzlichem Vorwiderstand) der vorangegangenen Stufe. Die Höhenverzerrrung wird mit RLC-Gliedern vorgenommen, so daß die erforderliche Steilheit der Verzerrerkennlinien bei der niedrigen Arbeitsgeschwindigkeit erreicht wird. Der Transistor *2 SC 633 A* kann durch die DDR-Typen *SC 236* bis *SC 239* ersetzt werden.

6.3.3. Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator

Die Schaltung eines Lösch- und Vormagnetisierungsgenerators im Bild 6.25 [24] weist einen guten Wirkungsgrad und bei entsprechender Dimensionierung des Übertragers einen geringen Klirr-

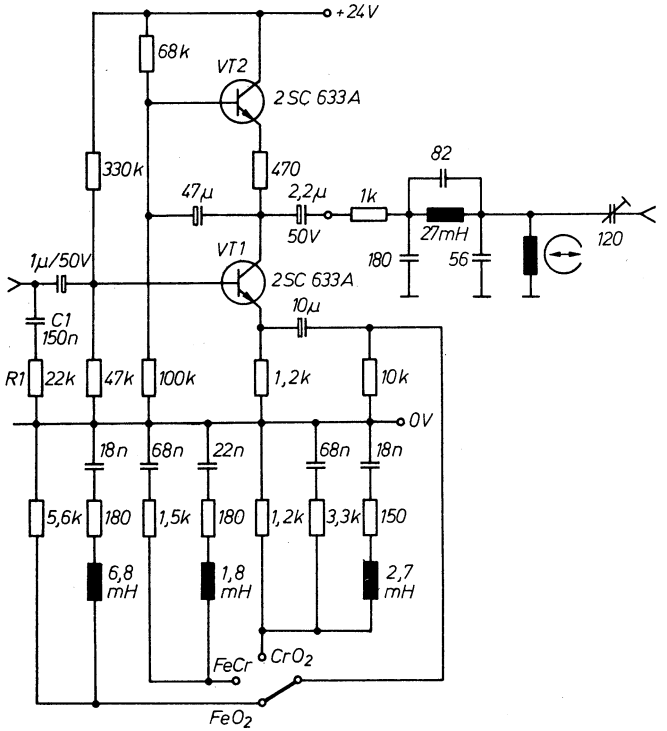
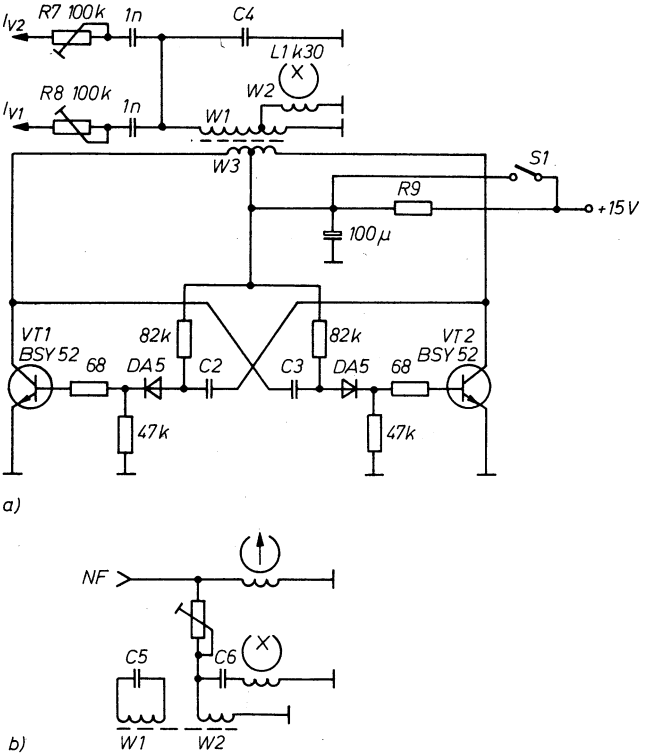


Bild 6.24 Aufzeichnungsverzerrer für MB 4 und verschiedene Bandtypen

faktor auf. Sie eignet sich gut zur experimentellen Anpassung an das Band-Kopf-System.

Die Transistoren VT1 und VT2 können durch den DDR-Typ *SF 127* ersetzt werden. Eine Besonderheit dieser Schaltung ist die Spitzengleichrichtung (*OA 5*) der Spannung zur Basisansteuerung. Durch Einschalten des Widerstands *R*9 werden die Betriebsspannung und damit die HF-Amplitude verringert, wodurch die Vormagnetisierungsstromumschaltung von CrO_2- auf FeO_2-Band erreicht wird.

Die Schaltung ist in der sekundären Beschaltung nach Bild 6.25 a für die Kompaktkassettentechnik ausgelegt. Der Kondensator *C*4



a)

b)

bestimmt in Verbindung mit dem Übertrager die Schwingfrequenz. Die HF-Amplitude für übliche Stereo-A/W-Köpfe der Kompaktkassettentechnik mit einer Induktivität von 100 bis 200 mH beträgt etwa 30 bis 40 V (f ≈ 100 kHz). Der Löschkopf L1K30 benötigt etwa 15 V und kann daher an die unterteilte Sekundärwicklung angeschlossen werden. Mit *R*7 und *R*8 kann der Vormagnetisierungsstrom für beide Systeme des Stereomagnetkopfes optimal eingestellt werden.

In der sekundären Beschaltung nach Bild 6.25 b ist zur Schwingfrequenzerzeugung ein gesonderter Schwingkreis (*C*5, *L*1) vorgesehen. Die Stereosysteme des Lösch- und Aufzeichnungskopfes wer-

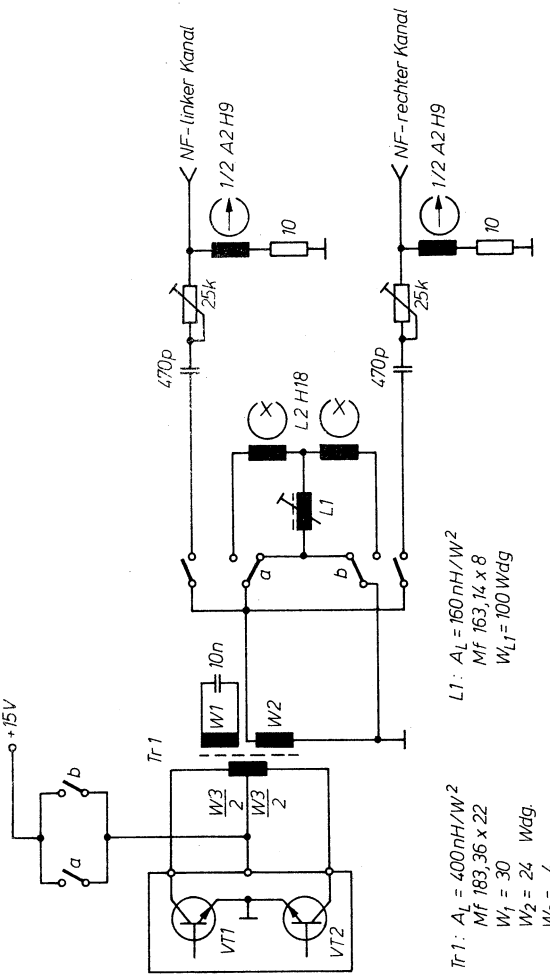


Bild 6.25 Lösch- und Vormagnetisierungsgenerator;
a – geeignet für MB 4,
b – zur experimentellen Anpassung an das Band-Kopf-System,
c – dimensioniertes Beispiel

den entsprechend der gekennzeichneten Beschaltung mit einem System parallel an die Wicklung $w2$ angeschlossen. Bei Betragsgleichheit von X_{C6} und X_L der Löschkopfinduktivität liegt über dem Löschkopf etwa die doppelte Spannung, so daß das Übersetzungsverhältnis $w2$ nur für die halbe Spannung zur Erzeugung des notwendigen Löschstroms ausgelegt zu werden braucht. Bedingung dafür ist, daß der Vormagnetisierungsspannungsbedarf kleiner der Spannung an $w2$ ist (Aufzeichnungsköpfe mit kleiner Induktivität). Aufzeichnungsköpfe (A/W-Köpfe) mit großer Induktivität können an den Schwingkreis angekoppelt werden.
Im Bild 6.25 c ist ein Übertrager für das Beispiel mit den Köpfen A2H9 und L2H18 für eine Frequenz von 85 kHz dimensioniert. Die Induktivität $L1$ ist als Ersatzinduktivität bei Einkanalbetrieb (mono, playback) erforderlich. Mit der Beziehung

$$w = w_0 \sqrt{A_{L0}/A_L} \tag{93}$$

lassen sich die Windungszahlen für Schalenkerne mit anderen A_L-Werten bestimmen. Zur Auswahl der Schalenkerne siehe z. B. [29, 31]. Die vollständige Dimensionierung eines Löschgenerators enthält [24].

6.3.4. Kontrollbaugruppen

Zur Überwachung des Aufzeichnungspegels ist eine Anzeige der Aussteuerung bei Handbetrieb unbedingt erforderlich und eine Mithörmöglichkeit über Kopfhörer sinnvoll. Mit der IS *A 273* läßt sich ein für Kontrollzwecke ausreichender Kopfhöhrerverstärker einfach aufbauen (Bild 6.26). Die IS *A 273* ist dazu in der Grundbeschaltung (Bild 6.15) mit einem Netzwerk zur physiologischen Wirkung des Lautstärkestellers beschaltet. Auf die Möglichkeit der Balanceeinstellung und des Abschaltens des Physiologieteils kann ebenso wie auf eine Klangbeeinflussung bei einem Kontrollverstärker verzichtet werden. Es ist damit eine relativ unverfälschte Wiedergabe einer Aufzeichnung gewährleistet. Entsprechend dem Kopfhöhrertyp kann es erforderlich sein, die Wirkung des Physiologieteils über R_p zu beeinflussen.
Um eine optimale optische Aussteuerungsüberwachung zu erreichen, läßt sich die Anzeige des Aufzeichnungspegels in einen frequenzabhängigen und einen frequenzunabhängigen Zweig auftei-

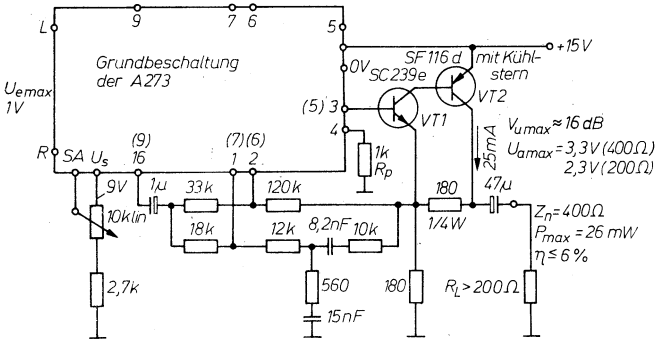


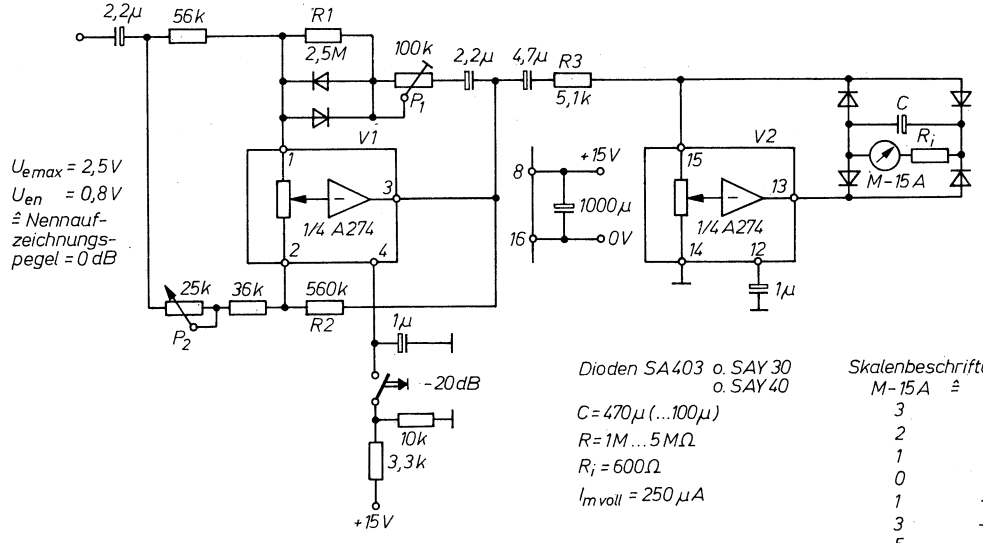
Bild 6.26 Kopfhörerverstärker mit *A 273*

len. Damit ist gewährleistet, daß einmal eine Anzeige zur Überwachung und Einschätzung des Programmaterials (insbesondere bei integrierter Mischeinrichtung notwendig) vorhanden ist und zum anderen die technischen Belange des Speichergeräts berücksichtigt werden (verringerte Höhenaussteuerbarkeit des Bandes, Tiefenanhebung).

Anforderungen an die Anzeige zur Beurteilung des Programminhalts sind:

- frequenzlineare Anzeige (angezeigter Pegel ist dann vom Frequenzspektrum des Programmaterials unabhängig),
- großer Anzeigebereich > 60 dB (erfordert eine Komprimierung der Dynamik),
- Anzeige eines mittleren Pegels (ermöglicht in Verbindung mit einem Abhörverstärker und großem Anzeigeumfang bei entsprechender Erfahrung ein sicheres Einstellen des Aufzeichnungspegels, z. B. am Anfang einer Darbietung),
- zweikanalig (zwei Kanäle sind immer dann erforderlich, wenn getrennte Vorpegel-, Misch- bzw. Aufzeichnungspegelsteller vorhanden sind).

Die Schaltung im Bild 6.27 erfüllt im wesentlichen diese Anforderungen. Sie ist mit der IS *A 274* aufgebaut und für das Doppelzeigerinstrument M15A (*ZK 246*) dimensioniert. Neben dem geringen Aufwand an zusätzlichen Bauelementen mit dieser integrierten Schaltung ist eine gleichspannungsgesteuerte Umschaltung auf eine lineare Anzeige mit +20 dB Verstärkung vorteilhaft. So kann



Skalenbeschriftung des M-15A ≙	in dB
3	8
2	4
1	0
0	-4
1	-10
3	-30
5	-38
7	-44
20	-60

Bild 6.27 Logarithmische Pegelanzeige mit großem Anzeigeumfang unter Verwendung eines Doppelzeigerinstruments (auf lineare Anzeige umschaltbar)

mit dieser Anzeige der Wiedergabefrequenzgang mit einem Bezugsband überprüft werden. Mit den beiden Einstellreglern P1 und P2 wird der Pegel auf die 0-dB-Marke ($U_e = 0{,}8\,V$ bzw. $U_e = 0{,}08\,V$) eingestellt. Mit $R1$ läßt sich die Linearität der logarithmischen Skale bzw. die Gleichheit beider Anzeigesysteme erreichen. Eine starke Verkleinerung von $R1$ bewirkt eine Verringerung des Anzeigeumfangs. Der zweite Verstärker ist mit dem Zeigerinstrument in der Rückführung als Effektivwertmesser (Sinussignale) beschaltet. Die Kapazität $C = 470\,\mu F$ verlangsamt den Zeigerrücklauf, verringert aber ebenso die Ansprechgeschwindigkeit. Es wird mit diesem Wert eine gute mittlere Anzeige des Pegels erreicht. Die Schaltung kann an alle frequenzlinearen Punkte mit dem Nennpegel von 0,8 V der Eingangsschaltung unverändert angeschaltet werden. Bei kleineren Eingangssignalen ist dem Innenwiderstand des Zeigerinstruments ein entsprechender Widerstand zur Verstärkungserhöhung dieser Stufe in Reihe zu schalten. C kann dann entsprechend verkleinert werden. Der Einsatz dieser Schaltung in Magnettongeräten ist nur in Verbindung mit einer der Aussteuerbarkeit des Bandes berücksichtigenden Anzeige verwendbar.

Anforderungen an eine solche Anzeigeschaltung sind:

- Anzeige des Spitzenwerts,
- Berücksichtigung der Aussteuerbarkeit des Bandes (dazu kann die Anzeigeschaltung nach dem Verzerrerverstärker angeschlossen werden bzw. ihr wird eine gesonderte Verzerrerschaltung, die im Frequenzverlauf speziell auf die Aussteuerbarkeit des Bandes abgestimmt ist, vorgeschaltet). Dies bringt bei großen aufzeichnungsseitigen Band-Kopf-Systemverlusten Vorteile, da dann die Aufzeichnungsstromanhebung in bezug auf den nutzbaren Aussteuerungsbereich des Bandes zu groß ist.
- sehr schnelles Ansprechen ohne Überschwingen und genügend langsames Abklingen.

Die Schaltung im Bild 6.28 mit der integrieten Ansteuerschaltung für Leuchtdioden (Band- oder Punktbetrieb möglich) *A 277* [27] ist für diesen Zweck gut geeignet. Die fünf Leuchtdioden lassen sich vorteilhaft zwischen den beiden Skalen des Doppelzeigerinstruments unterbringen. Auf die Helligkeitssteuerung mit dem Fototransistor *SP 202* sollte man nicht verzichten. Es ergibt sich damit eine optisch gute Anpassung an die Umgebungshelligkeit. Die Grundhelligkeit kann mit dem 100-kΩ-Widerstand am Anschluß *2*

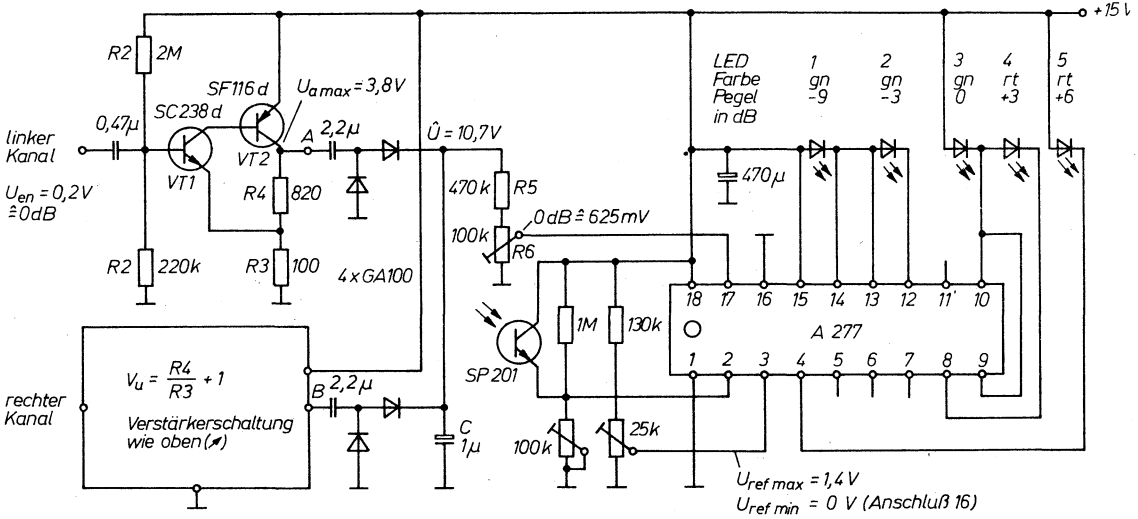


Bild 6.28 Spitzenwertanzeige mit LED-Band

der IS *A 277* eingestellt werden. Die logarithmische Leuchtbandanzeige ist nur einmal erforderlich. Dazu werden die Eingangsspannungen in einen Spitzenwertgleichrichter gebracht. Nur der jeweils höchste Wert gelangt zur Anzeige. Bei größeren Eingangssignalen kann die Wechselspannungsverstärkung durch teilweises Überbrücken von *R*4 mit einem (entsprechend großen) Kondensator verringert bzw. bei kleineren Eingangssignalen durch teilweises Überbrücken von *R*3 vergrößert werden.

6.3.5. Wiedergabeentzerrerschaltungen

Die für MB 4 konzipierte Wiedergabeentzerrerschaltung im Bild 6.29 [30] läßt sich mit wenig Änderungsaufwand auch für MB 6 verwenden. Dazu ist entsprechend der Kopfinduktivität und der er-

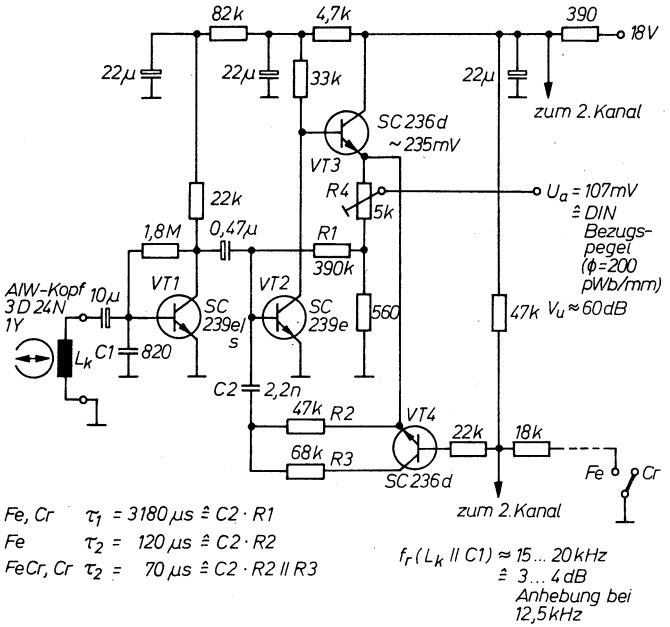


Bild 6.29 Wiedergabeentzerrerschaltung für MB 4 und CrO_2-FeO_2-Umschaltung

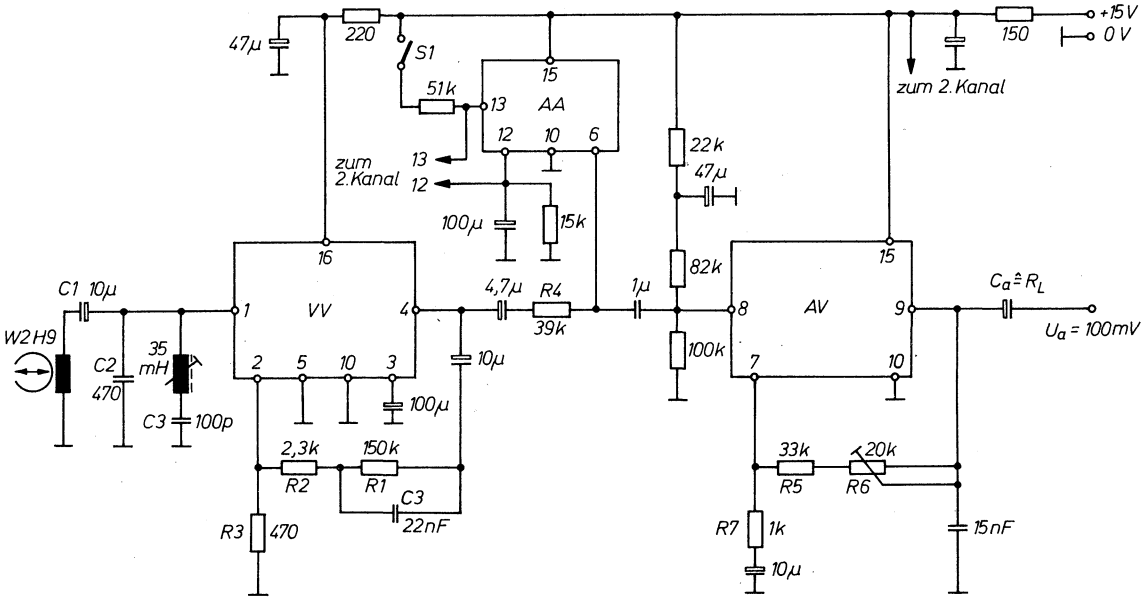


Bild 6.30 Wiedergabeentzerrerschaltung mit der IS *A 202*

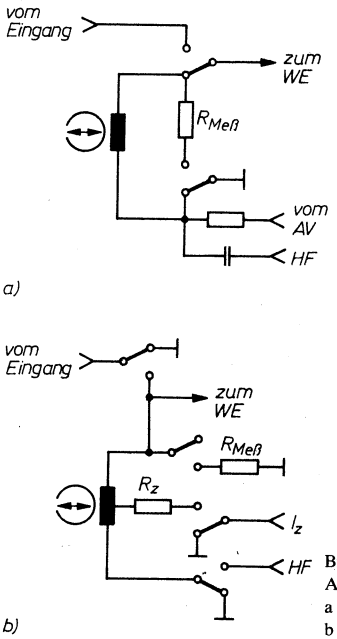


Bild 6.31
Anschaltmöglichkeiten von Kombiköpfen;
a – mit minimalem Kontaktaufwand,
b – für Magnetköpfe mit Mittelanzapfung

erforderlichen Höhenanhebung $C1$ anzupassen. Die Tiefenentzerrung braucht nicht geändert zu werden. Die Umschaltung der Zeitkonstanten $\tau_2 = 120\,\mu s$ auf $70\,\mu s$ erfolgt durch Zuschalten des Widerstands $R3$ mit dem Schalttransistor T4. Die Entzerrerkonstantenänderung für MB 6 ($v = 9/19$) erreicht man durch Verringern der Kapazität $C2$ auf 1,7 nF. Die Ausgangsspannung ist mit $R4$ auf den üblichen Spannungspegel von rund 100 mV zur Anpassung an ein Rauschverminderungssystem einstellbar.
Die integrierte Schaltung *A 202 [27]* läßt sich mit ihrem Eingangswiderstand von ca. 16 kΩ des Vorverstärkers für Magnetköpfe mit einer Induktivität bis 80 mH (100 mH) verwenden. Die Schaltung im Bild 6.30 nutzt alle Baugruppen dieser IS. Im Vorverstärker erfolgt die Wiedergabeentzerrung für $v = 190{,}5$ mm/s. Mit S1, z. B. gekoppelt mit der Pausentaste, wird über die Stufe der Aussteuerungsautomatik (AA) eine Absenkung des Pegels um etwa 40 dB erreicht. Der Aufzeichnungsverstärker (AV) verstärkt das hinter

dem VV abgeschwächte Signal wieder auf einen Wert von 100 mV. Zeitkonstantenumschaltungen können mit mechanischen Kontakten, z. B. Relais oder Verwendung einer Schaltung analog Bild 6.27, erfolgen. Dazu wird die Wiedergabespannung im VV und im AV entsprechend der kleinsten vorkommenden Zeitkonstanten entzerrt sowie der Verstärkungsabfall außerhalb des Übertragungsbereichs eingestellt. Mit einer Schaltung analog Bild 6.27 erfolgt dann eine Entzerrerkorrektur entsprechend der weiteren Zeitkonstanten.

Für hochwertige Geräte ist es zweckmäßig, den Aufzeichnungs- und Wiedergabekanal auch beim Einsatz von Kombiköpfen getrennt aufzubauen. Zwei Anschaltmöglichkeiten von Kombiköpfen enthält Bild 6.31.

7. Anhang

Begriffe der Magnettontechnik

7.1. Grundbegriffe

Aufzeichnen
Beeinflussen eines Magnetbands in der Art, daß eine dem Aufzeichnungssignal analoge, magnetische Strukturveränderung erfolgt

Aufzeichnung
Beim Aufzeichnen herbeigeführte magnetische Strukturveränderung des Magnetbands

Kopie
Eine Aufzeichnung, die durch Übertragen der Aufzeichnung eines anderen Magnetbands entstanden ist

Kopiereffekt
Störerscheinung, bei der eine Aufzeichnung ohne zusätzliche Einwirkung eines Hilfsfeldes auf die Nachbarwindungen des gleichen, aufgewickelten Magnetbands übertragen wird

Löschen
Beseitigen einer auf dem Magnetband vorhandenen Aufzeichnung

Vormagnetisieren
Absichtliche Beeinflussung eines Magnetbands während des Aufzeichnens durch ein zusätzliches Magnetfeld

Wiedergeben
Gewinnung eines elektrischen Signals aus einer Aufzeichnung

Gleichfeldlöschung
Löschverfahren, bei dem die auf dem Magnetband vorhandene Magnetisierung zerstört und auf einen konstanten Wert ohne Informationsgehalt gebracht wird

Gleichfeldverfahren
Verfahren, bei dem auf der Remanenzkurve des Magnetbands von einem zusätzlichen, magnetischen Gleichfeld ein zum Aufzeichnen günstiger Arbeitspunkt eingestellt wird

Wechselfeldlöschung
Löschverfahren, bei dem die auf dem Magnetband vorhandene Magnetisierung mit Hilfe eines Wechselfeldes zerstört und auf einen magnetisch neutralen Zustand zurückgeführt wird

Wechselfeldverfahren
Aufzeichnungsverfahren, bei dem von einem zusätzlichen magnetischen Wechselfeld die resultierende Kennlinie des Magnetbands linearisiert wird

7.2. Kenngrößen von Magnettongeräten

Andruckrolle
Rolle, die das Magnetband gegen die Transportrolle drückt

Antriebselement
Bauteil, mit dessen Hilfe dem Magnetband die Transportgeschwindigkeit erteilt wird, z. B. Transportrolle, Antriebsmotor oder Andruckrolle

Antriebsmotor
Motor, der die Transportgeschwindigkeit während des Aufzeichnens oder Wiedergebens bestimmt

Arbeitsgeschwindigkeit
Geschwindigkeit des Magnetbands gegenüber dem Magnetkopf in Richtung der Magnetspur während des Aufzeichnens bzw. Wiedergebens. (Bei Kassettengeräten der Tontechnik und den meisten Magnettonbandgeräten entspricht die Arbeitsgeschwindigkeit der Transportgeschwindigkeit.)

Aufzeichnungsverstärker
Verstärker, der aus dem Eingangssignal ein zum Aufzeichnen geeignetes Signal bildet

Bandwickel
Auf einem Wickelkern oder auf einer Spule aufgewickeltes Magnetband

Bandzugkraft
Kraft im Magnetband in Richtung der Transportgeschwindigkeit oder Wickelgeschwindigkeit an einer anzugebenden Seite

Führungselement
Bauteil zum Führen des Magnetbands

Gleichlaufschwankung
Mittlere periodische oder statistische Abweichung der Arbeits- oder Transportgeschwindigkeit vom Sollwert

Kassettengerät
Magnetspeichergerät, das für Magnetbandkassetten ausgelegt ist

Kopfträger
Vorzugsweise auswechselbare Baugruppe zur Aufnahme eines oder mehrerer Magnetköpfe, die eine reproduzierbare Lage der Arbeitsspalte der Magnetköpfe zum Magnetband gewährleistet

Magnetbandgerät
Magnetspeichergerät, das als Aufzeichnungsträger Magnetband verwendet

Magnetspeichergerät
Gerät zum Herstellen und Wiedergeben magnetischer Aufzeichnungen

Nennbandzug
Bandzugkraft, die für ein bestimmtes Magnetbandgerät bei festgelegten Funktionen vom Hersteller als Einstellwert angegeben wird

Rückwickelmotor
Wickelmotor, der sich in Richtung der Transportgeschwindigkeit vor den Magnetköpfen befindet

Schlupf
Abweichung der Arbeitsgeschwindigkeit von der zugehörigen Umfangsgeschwindigkeit der Transportrolle

Spule
Wickelkern mit Flanschen zum Schutz des Magnetbands

Tonhöhenschwankung
Nach festgelegten Meßbedingungen erfaßte Gleichlaufschwankung

Transportgeschwindigkeit
Geschwindigkeit des Magnetbands gegenüber einem ruhenden Punkt des Transportwerks während des Aufzeichnens oder Wiedergebens (Bandgeschwindigkeit)

Transportrolle
Rolle, die dem Magnetband die Transportgeschwindigkeit erteilt

Transportwerk
Zusammenfassung aller Antriebs-, Transport- und Führungselemente eines Magnetspeichergeräts

Vorwickelmotor
Wickelmotor, der sich in Richtung der Transportgeschwindigkeit hinter den Magnetköpfen befindet

Wickelgeschwindigkeit
Geschwindigkeit des Magnetbands während des Umwickelns

Wickelkern
Körper zum Aufwickeln des Magnetbands

Wickelmotor
Motor, der die zum Aufwickeln bzw. zum Umwickeln benötigte Leistung aufbringt, einschließlich der evtl. benötigten Bremsleistung

Wiedergabeverstärker
Verstärker, der die Wiedergabespannung in einer für die Weiterverarbeitung geeigneten Weise verstärkt

7.3. Magnetbänder

Bezugsband
Magnetband mit festgelegten (standardisierten) Aufzeichnungen zum Einstellen von Bandspeichergeräten

Kennband
Nichtmagnetisierbares Band in der Breite der Magnetbänder. Es wird in verschiedenen Farben hergestellt und dient zur Kennzeichnung von Anfang, Pausen und Ende

Hinterklebeband
Dünnes, selbstklebendes Kunststoffband ohne magnetisierbare

Anteile, welches durch Hinterkleben zwei Bandstücke verbinden kann

Justierband
Magnetband zum Einrichten der Magnetköpfe

Längsmagnetisierung
Komponente des remanenten Flusses im Aufzeichnungsträger, die in Richtung der Magnetspur zeigt

Magnetband
Magnetisierbarer Aufzeichnungsträger in Form eines Bandes

Magnetschicht
Magnetisierbares Material, welches durch Drücken, Gießen, Spritzen oder ähnliche Verfahren auf eine beliebige Unterlage gebracht wird

Masseband
Magnetband, dessen bandförmiges Volumen mit magnetisierbaren Teilchen durchsetzt ist

Magnetspur
Ein zusammenhängender Bereich veränderter magnetischer Eigenschaften eines Magnetbands, der von einem Arbeitsspalt auf dem Magnetband aufgezeichnet oder gelöscht wird

Meßband
Magnetband mit festgelegten (nicht standardisierten) Aufzeichnungen zum Einstellen des Wiedergabekanals

Mehrschichtband
Magnetband mit mehreren Schichten magnetisierbaren Materials

Probeband
Magnetband, dessen elektroakustische Eigenschaften bestimmt werden sollen

Quermagnetisierung
Komponente des remanenten Flusses im Aufzeichnungsträger, die senkrecht zu seiner magnetisierbaren Oberfläche steht

Regiespur
Magnetspur, deren Informationen zur Ergänzung oder Kennzeichnung der in anderen Spuren gespeicherten Informationen dienen

Schaltband
Elektrisch leitendes, nicht magnetisierbares Material in der Breite der Magnetbänder, das einen Schaltvorgang auslöst, wenn es spezielle Kontakte am Transportwerk berührt

Schichtband
Magnetband, das aus einem nicht magnetisierbaren, bandförmigen Träger mit einer Schicht magnetisierbaren Materials besteht

Schutzschichtband
Magnetband mit einer dünnen, nicht magnetisierbaren Deckschicht zum Schutz der magnetisierbaren Schicht und/oder der Magnetköpfe und anderen ruhenden Bauteile

Symmetrierband
Magnetband zum Einmessen von Bandspeichergeräten auf minimales Rauschen, das durch unsymmetrische Vormagnetisierungs- bzw. Löschströme und störende Gleichfelder auf dem Magnetspeichergerät entsteht

Tonspur
Magnetspur, aus deren remanenten Fluß akustische Informationen gewonnen werden können

Transversalmagnetisierung
Komponente des remanenten Flusses im Aufzeichnungsträger, die parallel zu seiner Oberfläche verläuft und senkrecht zur Richtung der Magnetspur steht

Vollspur
Magnetspur über annähernd die gesamte Breite des Magnetbands (Weitere Begriffe lassen sich relativ zur Vollspur bilden, z. B. Halbspur, Viertelspur usw.)

Vergleichsband
Magnetband einer ausgewählten Charge als Vergleichsnormal für die Bestimmung oder Festlegung bestimmter Parameter

Zweischichtband
Magnetband mit zwei Schichten magnetisierbaren Materials

7.4. Magnetkopf

Arbeitsspalt
Spalt im ferromagnetischen Kreis des Magnetsystems auf der dem Aufzeichnungsträger zugewandten Seite

Kern
Ferromagnetischer Teil des magnetischen Kreises eines Magnetsystems

Kernblech
Ferromagnetischer Blechteil zum Aufbau des Magnetsystems

Kernpaket
Durch feste Verbindung mehrerer Kernbleche oder anderer Elemente (Ferrite) entstandener Kernteil

Magnetsystem
Einzelner elektromagnetischer Wandler

Mehrspurkopf
Magnetkopf, der als Baueinheit mehrere Magnetspuren gleichzeitig und weitgehend unabhängig aufzeichnen, wiedergeben und/oder löschen kann. An die Stelle der Silbe „mehr" kann auch die Ziffer der Spurenzahl treten (z. B. 4-Spurkopf für Quadrofonie)

Mehrspurverbundkopf
Magnetkopf, der zugleich ein Mehrspurkopf und ein Verbundkopf ist (z. B. Stereo-Kopf mit getrennten Systemen für Aufnahme und Wiedergabe)

Nebenspalt
Unerwünschter Spalt zwischen der Spalteinlage und der Polfläche am Arbeitsspalt

Polfläche
Querschnitt des Kerns am Arbeits- oder Scherungsspalt

Scherungsspalt
Zusätzlicher Spalt im ferromagnetischen Kreis des Magnetsystems, der nicht in Wechselwirkung mit dem Aufzeichnungsträger tritt, sondern u. a. der Linearisierung der magnetischen Kennlinie des Kerns dient

Spaltebene
Mittelebene zwischen den Spaltkanten senkrecht zur Spiegelebene

Spalteinlage
Nichtmagnetisches Bauteil zur Begrenzung der Mindestspaltweite

Spaltkante
Begrenzungslinie des Arbeitsspalts am Kopfspiegel

Spaltneigung
(Spaltschiefstellung) Abweichung der Spaltrichtung von ihrer Sollrichtung

Spaltrichtung
Festgelegt vom Winkel zwischen der Spaltebene und der Richtung der Arbeitsgeschwindigkeit (Bandgeschwindigkeit)

Spaltwiderstand
Magnetischer Widerstand (R_s) des Arbeits- oder Scherungsspalts

Spiegelebene
Tangentialebene am Kopfspiegel in Spaltmitte

Umschlingungswinkel
Spitzer Winkel zwischen An- und Ablaufrichtung des Magnetbands am Magnetkopf, gemessen zwischen den äußeren Berührungspunkten

Verbundkopf
Magnetkopf, der in der Richtung einer Magnetspur bei definiertem Abstand zwei oder mehrere Magnetsysteme enthält

7.5. Tabellen zur Umrechnung von Pegeln

Tabelle 7.1. Absolute Spannungspegel

$L_u = 20 \lg U_x/U_0$ dBU
$U_0 = 775$ mV

L_u in dBU	U_x in mV	L_u in dBU	U_x in mV
+ 20	7746	− 0,4	740
+ 18	6153	− 0,6	723
+ 16	4888	− 0,8	706
+ 14	3882	− 1	690
		− 1,5	652
+ 12	3084	− 2	615
		− 2,5	581
+ 10	2449	− 3	548
+ 9	2183	− 4	489
+ 8	1946	− 5	436
+ 7	1734	− 6	388
+ 6	1545	− 7	346
+ 5	1377	− 8	308
+ 4	1228	− 9	275
+ 3	1094	− 10	245
+ 2,5	1032		
+ 2	975	− 12	195
+ 1,5	921		
+ 1	869	− 14	155
+ 0,8	850	− 16	123
+ 0,6	830	− 18	97,5
+ 0,4	811	− 20	77,5
+ 0,3	802	− 25	43,6
+ 0,2	792	− 30	24,5
+ 0,1	784	− 35	13,8
0	775	− 40	7,75
− 0,1	766	− 45	4,36
− 0,2	757	− 50	2,45
− 0,3	748	− 60	0,78

Für die Umrechnung des Spannungspegels in dBu in den Spannungspegel in dBV gilt: xdBu − 2,21 dB = ydBV bzw. zur Umrechnung der Verhältnisse:

$$\frac{U_x}{0{,}775\ \text{V}} = \frac{U_y}{1\ \text{V}}; \quad \frac{U_y}{U_x} = \frac{1\ \text{V}}{0{,}775\ \text{V}} = 1{,}29$$

Tabelle 7.2. Relative Spannungs- und Leistungspegel

	Spannung $L_{ru} = 20 \lg \frac{U_x}{U_1}$	Leistung $L_{rp} = 10 \lg \frac{P_x}{P_1}$
L_r in dBr	$\frac{U_x}{U_1}$	$\frac{P_x}{P_1}$
0	1,00	1,00
0,2	1,02	1,05
0,4	1,05	1,10
0,6	1,07	1,15
0,8	1,10	1,20
1,0	1,12	1,26
1,5	1,19	1,41
2,0	1,26	1,58
2,5	1,33	1,78
3,0	1,41	2,00
3,5	1,50	2,24
4,0	1,58	2,51
4,5	1,68	2,81
5,0	1,78	3,16
5,5	1,88	3,55
6,0	1,99	3,98
6,5	2,11	4,47
8	2,51	6,31
10	3,16	10,0
12	3,98	15,8
14	5,01	25,1
16	6,31	39,8
18	7,94	63,1
20	10,0	100
22	12,6	158
24	15,8	251
26	19,9	398
28	25,1	631
30	31,6	1000
35	56,2	3160
40	100	10000
45	178	31600
50	316	100000
55	562	316000
60	1000	1000000
70	3160	10^7
80	10000	10^8
90	31600	10^9
100	100000	10^{10}

8. Literatur

[1] *Förster, H.:* Einheiten, Größen, Gleichungen und ihre praktische Anwendung, Leipzig, VEB Fachbuchverlag 1976, 3. Auflage

[2] *Reichhardt, W.:* Elekroakustik BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig; 1971, S. 124

[3] *Ahnert, W.; Reichardt, W.:* Grundlagen der Beschallungstechnik, Berlin, VEB Verlag Technik, 1981, 1. Auflage

[4] *Reichardt, W.:* Gute Akustik, aber wie? Berlin, VEB Verlag Technik, 1979, 1. Auflage

[5] Beiträge zur Kassetten-Meßtechnik, VEB Kombinat *Rundfunk und Fernsehen* Staßfurt, VEB *Zentrallaboratorium für Rundfunk- und Fernsehempfangstechnik* Dresden

[6] Patente, in: radio fernsehen elektronik, 28 (1979), 11, S. 741

[7] *Walz, H.:* Sind Spulen-Tonbandgeräte den Cassetten-Decks immer noch überlegen? Funktechnik 33 (1978) 20, S. 333

[8] *Laeske, G.:* HiFi-Kassettentonbandgerät TC-229 D Teil 1, radio fernsehen elektronik, 28 (1979) 5, S. 311–318; Teil 2, a. a. O., 28 (1979) 6, S. 393–401

[9] rfe-Nachrichten, radio fernsehen elektronik, 26 (1977) 5, S. 141

[10] *Frenzel, J.:* Universeller Sensorschaltkreis *U 705 D,* radio fernsehen elektronik, 29 (1980) 5, S. 315–317

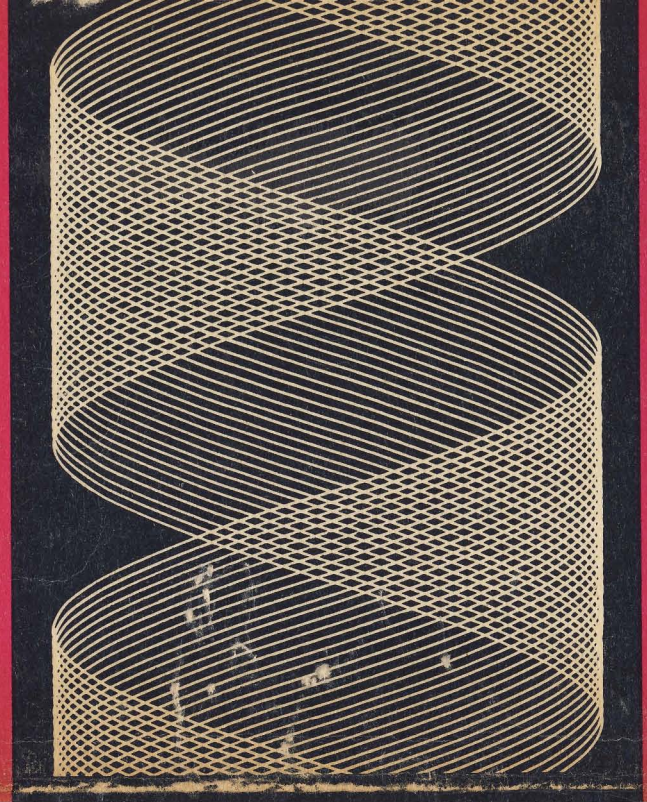
[11] rfe-Nachrichten, radio fernsehen elektronik, 27 (1978) 10, S. 612

[12] *Schelenz, J.; Schult, U.:* Grundlagen der magnetischen Signalspeicherung, Bd. 5, Kleinmotore, Berlin, Akademie-Verlag, 1975

[13] *Kühne, H.:* Beispiele für Steuer- und Regelschaltungen mit Gleichstromkleinmotoren, electronica, Bd. 176, Berlin, Militärverlag der DDR, 1979

[14] *Scholz, Ch.:* Handbuch der Magnetbandspeichertechnik, Berlin, VEB Verlag Technik, 1979

[15] *VEB Halbzeugwerk Auerhammer:* Weichmagnetische Sonderwerkstoffe – Bänder – Stanzteile in Magnetkopfqualität, Werkstandard, HWA O 26, April 1978

[16] ... Was ist Sendust? Funktechnik, 33 (1978) 20, S. 335
[17] *Scholz, Ch.:* Magnetbandspeichertechnik, Berlin, VEB Verlag Technik, 1968, S. 215
[18] *Scholz, Ch.:* Abriebeigenschaften und Lebensdauer von Kassetten-Magnetköpfen, radio fernsehen elektronik, 29 (1980) 1, S. 10–13 und S. 18
[19] *Finke, K.-H.:* Oszillographische Kontrolle der Bandgeschwindigkeit von Kassettengeräten, radio fernsehen elektronik, 27 (1978) 4, S. 239
[20] *Scholz, Ch.; Pohl, J.:* Schaltungstechnik in Kassettenrecordern, Berlin, VEB Verlag Technik, 1980, 1. Auflage
[21] *Paul, R.:* Halbleiterdioden, VEB Verlag Technik, Berlin, 1976
[22] *Paul, R.:* Transistoren und Thyristoren, Berlin, VEB Verlag Technik, 1976
[23] *Ratzki, W.; Keck, J.:* Vorverstärker in HiFi-Qualität, Funktechnik, 1968, H. 20, S. 769–772 und H. 21, S. 807–814
[24] *Ratzki, W.; Keck, J.:* Vorverstärker, Aufsprechentzerrer und HF-Generator für HiFi-Magnettongeräte, Funktechnik, 1969, H. 2, S. 53–56 und H. 3, S. 91, 94, 95
[25] *Radandt, R.:* Aufbau rauscharmer Vorverstärker für magnetische Abtastsysteme, radio fernsehen elektronik, 27 (1978) 8, S. 491–495
[26] *Pohl, J.:* Kassettentechnik und Dolby-Systeme, radio fernsehen elektronik, 24 (1975) 10, S. 318–325
[27] Reihe Information – Applikation des VEB *Halbleiterwerk* Frankfurt/O., Leitbetrieb im VEB Kombinat *Mikroelektronik,* Heft 4: Aufbau, Eigenschaften und Anwendung des integrierten Aufnahme- und Wiedergabeverstärker-Schaltkreises *A 202 D*
a. a. O. Heft 7: Gleichspannungsgesteuerte NF-Stero-Einstellschaltkreise *A 273* und *A 274*
a. a. O. Heft 10: LED-Ansteuerschaltkreis *A 277 D* – Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten
[28] *Edelmann, P.:* Integrierte Lautstärke- und Klangeinsteller *A 273* und *274,* radio fernsehen elektronik, 28 (1979) 12, S. 751–757
[29] *Wauer, L.:* Optimale Dimensionierung von Kerngrößen und Luftspalt bei Induktivitäten, radio fernsehen elektronik, 31 (1982) 4, S. 222–224

[30] *Bauer, B.; Brehm, K.:* HiFi-Stereo-Kassettengerät SK 900, radio fernsehen elektronik, 29 (1980) 10, S. 615–625
[31] *Becker, E.; Beyer, P.:* Weichmagnetische Ferritbauelemente und ihre Anwendung, Teil 1 und 2, electronica Bd. 124 und 125, Berlin, Militärverlag der DDR, 1974
[32] *Jakubaschk, H.:* Amateurtontechnik, Berlin, Militärverlag der DDR, 1981, 3. überarb. Auflage
[33] *Monse, H. R.:* Tonbandtips, Leipzig, VEB Fotokinoverlag, 1980, 2. verbesserte Auflage
[34] *Holtfreiter, W.:* NF-Millivoltmeterzusätze für Vielfachmesser, radio fernsehen elektronik, 27 (1978) 2, S. 128, 129